



UNIVERSITAT DE LLEIDA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL Y CIENCIA FORESTAL

Trabajo Final de Master

Caracterización mediante Modelos a partir de los Datos LIDAR de los Montes Consorticiados y Conveniados de las comarcas: Aranda, Comunidad de Calatayud y Campo de Daroca

Tutorizado por: Sergio de Miguel Magaña

Cotutorizado por: Marco Lorenzo Domínguez

Guillermo Abadía Ferré

Julio de 2017

Firma: _____

Resumen o “Abstract”:

El Trabajo Final de Master (TFM) trata de aportar al Servicio Provincial en el departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad (SPZ) del Gobierno de Aragón, la actualización de la información referente a los montes consorciados y conveniados de las comarcas: Aranda, Comunidad de Calatayud, y Campo de Daroca. Para ello se ha utilizado mediante LIDAR un inventario de gran superficie. Esta caracterización se ha ejecutado al realizar un inventario forestal en algunos de los montes de la zona de estudio, con el objeto de obtener las variables típicas de inventario y mediante regresión lineal, se ha establecido una relación entre cada variable con los datos estadísticos LIDAR. Adicionalmente se ha analizado dichas relaciones con el fin de seleccionar la que mejor ajuste estadístico tiene y extrapolar así los resultados de ésta, a toda la zona de estudio. Posteriormente se ha representado espacialmente los resultados a través de un mapa cartográfico que expresa las diferentes variables típicas de Inventario Forestal en diferentes clases representativas diferenciadas en colores, considerando las variables típicas las siguientes: Altura dominante, Volumen y Área Basimétrica. Finalmente se ha evaluado las diferentes relaciones utilizadas en la caracterización con el fin de determinar el grado de ajuste y error. Como conclusión se establece que se ha conseguido caracterizar las 7863 ha arboladas de la zona de estudio, con 40 parcelas teniendo un error inferior a un 30 %.

Palabras clave: LIDAR, MODELOS, CONSORCIOS Y CONVENIOS, INVENTARIO DE GRAN SUPERFICIE.

Agradecimientos

Este Trabajo Final de Master (TFM), es un documento de carácter académico encargado por la Universidad de Lleida (UdL) y se ha podido realizar gracias al “*Convenio de cooperación educativa entre el Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza y la Universidad de Lleida para la realización de prácticas académicas externas*” firmado el 27 de julio de 2015, con el cual se finalizan los estudios del Master en Ingeniería de Forests (MEF).

Me permito hacer mención a los esfuerzos de la Unidad de Gestión Forestal y a los Agentes para la Protección de la Naturaleza (APN) del Servicio Provincial de Zaragoza, cuya colaboración ha sido indispensable para la realización en campo de los trabajos que ampara este documento.

También quiero agradecer la inestimable guía y colaboración por parte de los tutores de este trabajo Dr. *Sergio de Miguel Magaña* mi profesor de Modelización Forestal y a Don *Marco Lorenzo Domínguez* Jefe de Sección de Gestión de Montes del Servicio Provincial de Zaragoza, quienes han dedicado su tiempo y han estado atentos a mis consultas. Así mismo a Don *Enrique Arrechea Veramendi*, Jefe de Unidad de Gestión Forestal y Don *Álvaro Hernández Jimenez*, Jefe de Sección de Sanidad Forestal, ambos del Servicio Provincial de Zaragoza, por sus ideas, aportaciones y enseñanzas.

Indiscutiblemente he de mencionar el apoyo recibido de mi familia; dando ánimo en los momentos complejos que ha habido y siempre dando un “*empujoncito*”.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Consortios y Convenios	4
1.2	LIDAR	8
1.3	Modelos	10
2	OBJETIVO	11
3	MATERIALES Y METODOS.....	12
3.1	Zona de estudio	12
3.1.1	Clima.....	14
3.2	Inventario Forestal	17
3.2.1	Recopilación de datos	17
3.2.2	Variables a medir en el inventario.....	19
3.2.3	Diseño de inventario forestal.....	21
3.2.4	Ejecución del Inventario	23
3.3	Datos LIDAR	26
3.3.1	Características del vuelo LIDAR y especificaciones técnicas.....	27
3.3.2	Obtención de los datos LIDAR y procesado	28
3.4	Estimación de las principales características de la masa forestal a partir de datos LIDAR.....	32
3.4.1	Evaluación y análisis del modelo.....	32
3.4.2	Modelo de la Altura Dominante (H_0)	36
3.4.3	Modelo del Volumen (V)	37
3.4.4	Modelo de Densidad (N)	38
3.4.5	Modelo de Área basimétrica (G)	39
3.5	Cartografía	40
3.5.1	Reclasificación de la Altura Dominante (H_0).....	40
3.5.2	Reclasificación del Volumen.....	42
3.5.3	Reclasificación del Área Basimétrica (G)	42
3.6	Diagrama del proceso seguido para obtener los resultados	44
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45

4.1	Recopilación de Datos	45
4.2	Modelos	45
4.2.1	Altura Dominante	45
4.2.2	Volumen.....	47
4.2.3	Densidad.....	48
4.2.4	Área Basimétrica.....	49
4.3	Representación Cartográfica de los modelos	50
4.3.1	Datos globales de Altura dominante y Calidad de estación.....	51
4.3.2	Datos globales del Volumen	52
4.3.3	Datos globales Área Basimétrica.....	54
4.3.4	Validación de los modelos.....	55
5	CONCLUSIONES	58
6	BIBLIOGRAFIA.....	61

Ilustración 1. Diversos retornos cuando el haz encuentra vegetación. (Fuente: Vosselman y Maas: 2010)	9
Ilustración 2. Mapa Físico de la Provincia de Zaragoza	12
Ilustración 3. Vuelos del PNOA (Fuente IGN)	26
Ilustración 4. Normalización de la nube de puntos LIDAR (Fuente: Rodríguez y Fernández)	29
Ilustración 5. Relación entre Altura Dominante y estadístico LIDAR.....	36
Ilustración 6. Relación Volumen y estadísticos LIDAR.....	37
Ilustración 7. Relación N y estadístico LIDAR.....	38
Ilustración 8. Curvas de Calidad de estación para <i>Pinus halepensis</i> (G Montero et al., 2000)	41

Ecuación 1 Estimación del Volumen	20
Ecuación 2 Estimación de la Densidad	20
Ecuación 3 Estimación del Área Basimétrica.....	21
Ecuación 4 Estimación del Diámetro Cuadrático Medio.....	21
Ecuación 5 Factor de corrección del sesgo al linealizar.....	32

Tabla 1. Resumen de la Superficie por Clases de la zona de estudio según MFE.....	14
Tabla 2. Relación del número de montes de la zona de estudio y su especie principal	14
Tabla 3. Descripción General de los Montes.....	18
Tabla 4. Datos de los consorcios	19
Tabla 5. Equivalencia entre mediciones LIDAR obtenidas con FUSION y la nomenclatura empleada en las variables utilizadas en la modelización	31
Tabla 6. Reclasificación de la Altura Dominante	41
Tabla 7. Reclasificación del Volumen.....	42
Tabla 8. Reclasificación provisional del Área Basimétrica G	43
Tabla 9. Reclasificación final del Área Basimétrica G	43
Tabla 10. Resultados de los Modelos de Altura Dominante	45
Tabla 11. Resultados de los modelos de Volumen	47
Tabla 12. Resultados de los modelos de Densidad	48
Tabla 13. Resultados de los modelos de Área Basimétrica	49
Tabla 14. Porcentaje de superficie para cada clase de Altura Dominante y Calidad de Estación	51
Tabla 15. Porcentaje de superficie ocupada por cada rango de Volumen	52
Tabla 16. Resumen de Existencias en la Zona de Estudio.....	53
Tabla 17. Porcentaje de superficie por clases de Área Basimétrica.....	54
Tabla 18. Relación entre Área Basimétrica y Densidad	55
Tabla 19. Resultados Validación Modelos.....	55

1 INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Final de Master (TFM) trata de aportar al Servicio Provincial en el departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad (SPZ) del Gobierno de Aragón, la actualización de la información referente a los montes consorciados y conveniados de la provincia de Zaragoza. Para acotar este trabajo se ha decidido definir los límites del estudio en los montes situados en las siguientes comarcas: *Comunidad de Calatayud, Aranda y Campo de Daroca*. Estas comarcas conforman las Áreas Medioambientales (AMA) 11 y 23. Las AMA son divisiones administrativas del territorio creadas por el Gobierno de Aragón con la finalidad de organizar los recursos humanos y materiales.

Estos montes tienen un aspecto legal diferenciado debido a que existe un contrato administrativo legal en vigor: *los consorcios y convenios*.

1.1 Consorcios y Convenios

La figura de consorcios y convenios proviene del siglo pasado, del afán de la administración en establecer una relación de lo privado con lo protector “*Real Decreto-Ley de 26 de julio de 1926, referente al Plan General de Repoblación Forestal de España, desarrollado en el Real Decreto de 24 de marzo de 1927*”. Es bien sabido que las repoblaciones forestales con especies de crecimiento lento, genera unos beneficios ambientales muy elevados, pero monetariamente no son atractivos, por esta razón ha sido función de la administración pública las repoblaciones forestales de especies de crecimiento lento (Pérez-Soba Diez, 2016).

Como indican Pérez-Soba, Ignacio & Picos, Juan “*Después de la Guerra Civil el Gobierno surgido mostró interés por revitalizar el organismo creado en 1935, promulgando la Ley de 26 de agosto de 1939 que modificaba algunos aspectos y finalmente aprobando la Ley de 10 de marzo de 1941, considerada como la verdadera fundación del Patrimonio Forestal del Estado (PFE), encargado de restaurar, conservar e incrementar la riqueza forestal propiedad del estado, es decir adquirir terrenos o derechos sobre estos terrenos para proceder a repoblarlos,....., la obligación establecida en el artículo 18 de la Ley de 1941 de que, para que el PFE pudiera repoblar un terreno debía, previamente, suscribir un consorcio con el propietario, con independencia de que éste fuera público o privado e incluso aunque se tratara de montes de U.P. El consorcio ya no era un medio para repoblar terrenos privados, sino*

el único mecanismo para repoblar terrenos que no fueran del Estado, aunque fueran públicos”(Picos & Pérez-Soba, 2017).

Una vez expresado el origen del patrimonio forestal del estado (PFE) y las competencias que este organismo ha tenido, se procede a explicar lo que es un consorcio.

El consorcio es un contrato administrativo (si no interviene la administración forestal, es un contrato civil) formalizado en unas bases; que proponen lo siguiente: El propietario, público o privado, siempre conserva la propiedad del monte, pero éste pone a plena disposición dicho monte, al organismo repoblador para que repueble y gestione el arbolado creado; al realizar esto, el organismo repoblador adquiere el derecho real del vuelo y obligatoriamente ha de inscribir este derecho real en el Registro de la Propiedad (aunque esta acción mayoritariamente no se haya ejecutado).

A partir de la firma del consorcio, se ejecutan los efectos del contrato, así como el control de los ingresos y gastos derivados de la repoblación pasan al organismo repoblador.

Es importante destacar que los ingresos derivan exclusivamente de la venta de los aprovechamientos de madera.

Estos ingresos se distribuyen entre el organismo repoblador y el propietario del terreno, normalmente la distribución es: dos terceras partes para el organismo repoblador y una tercera parte para el propietario del terreno. Los gastos son múltiples, aparte de la inversión inicial de la repoblación, vías de servicio, tratamientos etc... se pueden sumar las partes proporcionales de las inversiones de la Administración Forestal en el conjunto de montes a su cargo en guardería forestal, prevención de incendios etc.

El consorcio puede finalizar cuando los ingresos obtenidos por el monte consorciado dejen resarcida la deuda generada por los gastos de ese monte al organismo repoblador o a la administración encargada de la gestión. La rescisión anticipada del consorcio se produce por iniciativa del propietario, y ésta se ejecuta, cuando el propietario abone la deuda acumulada hasta el momento (Picos & Pérez-Soba, 2017).

El convenio es también un contrato administrativo, tiene un carácter más beneficioso para el propietario ya que no se establece derecho real sobre el vuelo, parte de los gastos

(hasta el 50%) son considerados subvenciones a fondo perdido, además los gastos de guardería y otros no se cargan a la cuenta del Convenio.

Con la entrada en vigor de la Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón, señalaba otra manera de rescindir los consorcios y convenios en Aragón, dicha ley es modificada por la actual Ley 3/2014, de 29 de mayo, en la que su disposición adicional cuarta enuncia lo siguiente:

1 *“Los consorcios o convenios forestales sobre montes de titularidad pública podrán rescindirse, previa declaración de utilidad pública y consiguiente catalogación, produciéndose, por efecto de la catalogación, la condonación de la deuda que se mantenga a favor de la Administración de la Comunidad Autónoma por los trabajos realizados en cumplimiento del consorcio o convenio. Con la catalogación queda extinto el derecho de la Administración Autonómica al vuelo creado con el consorcio convenio forestal.”*

2 *“Los mismos derechos y condiciones económicas serán de aplicación a los consorcios y convenios de repoblación existentes sobre montes ya catalogados a la entrada en vigor de esta ley.*

Los montes de titularidad privada, se regulan en la disposición adicional quinta de esta ley y se indica lo siguiente:

“Los consorcios o convenios forestales sobre montes de titularidad privada podrán rescindirse, previa su declaración como montes protectores y consiguiente inclusión en el Registro de montes protectores, produciéndose por efecto de la inscripción la condonación de la deuda que se mantenga a favor de la Administración de la Comunidad Autónoma por los trabajos realizados en cumplimiento del consorcio o convenio. Con la declaración de monte protector queda extinto el derecho de la Administración autonómica al vuelo creado con el consorcios o convenio forestal, si bien el propietario estará obligado a la elaboración y aprobación de un instrumento de gestión en el plazo de cinco años desde la declaración como monte protector.”

Con todo lo expuesto, se aclara que los montes consorciados y conveniados de la zona de estudio de titularidad pública, no están declarados como Montes de Utilidad Pública (MUP) por consiguiente se mantiene la figura de montes consorciados y conveniados, lo

que implica que la Administración de la Comunidad Autónoma de Aragón, mantiene los derechos reales sobre el vuelo y la gestión del arbolado.

Los montes consorciados y conveniados de la zona de estudio de titularidad privada, no se han declarado como montes protectores, por esta razón el consorcio o convenio no se ha rescindido, manteniendo así la Administración de la Comunidad Autónoma de Aragón los derechos reales del vuelo y teniendo así, la potestad de ejercer la gestión del vuelo de dichos terrenos.

Como se ha indicado anteriormente; el consorcio y el convenio son unas bases contractuales, de las cuales el Patrimonio Forestal del Estado y posteriormente el ICONA (Instituto para la Conservación de la Naturaleza) han utilizado para repoblar zonas de diversa titularidad. Por esta razón dichos montes tienen una vegetación procedente de repoblación.

Estos bosques presentan una serie de problemas propios, básicamente debido a la mono especificidad y a la coetaneidad de estos sistemas. La mono especificidad otorga mayor sensibilidad a perturbaciones como incendios, plagas y enfermedades, así como problemas de abatimiento a causa del viento y la nieve, La coetaneidad implica, en ausencia de planificación, una mayor dificultad a la hora de asegurar la permanencia en el tiempo de la masa.

A estos dos problemas hay que sumar el originado por las elevadas densidades iniciales de plantación que junto a la ausencia de tratamientos y cuidados culturales, han conducido a un estancamiento de muchas de estas masas.

Por lo tanto, es necesario definir una selvicultura que corrija estas características propias de las masas procedentes de repoblación.

Este trabajo, ayudará a definir el tipo de selvicultura a aplicar en los montes estudiados, debido a que aporta información de las principales variables que reflejan el estado de la masa, además es posible determinar las zonas más susceptibles de colapso, y por ende, las zonas donde se tendría que intervenir, reduciendo así los riesgos anteriormente citados.

1.2 LIDAR

Debido a la gran superficie incluida en la zona de estudio, se ha utilizado la tecnología LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) como herramienta, con el fin de realizar un inventario forestal de gran superficie y poder obtener las principales variables de la vegetación de estos montes.

El LIDAR es un sistema activo de detección remota basado en un escáner láser. Los sensores activos, son aquellos que emiten energía sobre el objetivo y reciben la señal reflejada por el mismo. El funcionamiento teórico del sensor LIDAR es sencillo. El sensor mide el tiempo que la luz láser emitida tarda en ir y volver (al ser este rebotado por una superficie). Las coordenadas del emisor y la dirección del haz de luz es conocido, el sensor calcula el espacio recorrido por el pulso de luz mediante el tiempo transcurrido, por lo siguiente, cada retorno laser se puede georreferenciar en sus tres dimensiones en el espacio, debido a que se conocen la tripleta de coordenadas X,Y,Z (Magdaleno & Martínez, 2006).

El sensor LIDAR del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) es aerotransportado, para conocer con exactitud esta tripleta de coordenadas del pulso retornado o el punto donde rebota el haz de luz, es necesario conocer la posición exacta del avión, esto se consigue con los instrumentos de navegación de éste, un GPS diferencial, además de un sistema de medición inercial IMU, este sistema es una combinación de acelerómetros y giróscopos, con los cuales se conoce en todo momento la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales del avión.(Ojeda & Martinez, 2017).

La característica fundamental que hace de la tecnología LIDAR una herramienta fundamental en el ámbito del inventario forestal, es la capacidad del haz de luz en rebotar varias veces en un mismo pulso. Cuando el pulso láser llega al terreno se comporta de diferente manera dependiendo de la superficie del objeto en el cual rebota.

- Superficie sólida: el pulso se refleja completamente y regresa al avión (1 retorno).
- Superficie agua: el pulso es absorbido, por lo que no se obtiene información de este.
- Vegetación: En esta superficie puede haber diversos retornos en un mismo pulso láser, ya que parte del pulso se refleja en el árbol o copa de éste (1º retorno), el resto del pulso sigue incidiendo hasta encontrar otro obstáculo; otra parte del

árbol, matorral o suelo (2º,3º retorno y sucesivos) así, hasta que la superficie que encuentre sea completamente sólida y el pulso regrese completamente al sensor.

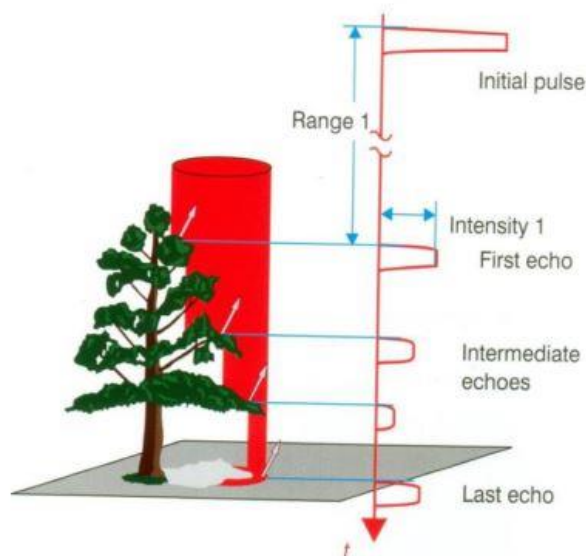


Ilustración 1. Diversos retornos cuando el haz encuentra vegetación. (Fuente: Vosselman y Maas: 2010)

El número máximo de retornos se ve limitado, además de por la superficie objetivo, por las características del sensor. Esta característica de multiretorno en la vegetación es imprescindible debido a que, si el láser rebotara sobre la primera superficie con la que contacte, sería imposible obtener retornos procedentes del suelo en una masa arbórea y por lo tanto, solo se podría disponer de un modelo digital de copas, no pudiendo conocer la altura de estas respecto al suelo.

Los datos LIDAR se pueden obtener para todo el territorio español debido al Proyecto PNOA.

Proyecto PNOA

El proyecto PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea), es una iniciativa del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como respuesta a la directiva europea INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*). Este proyecto trata de obtener información cartográfica de carácter nacional, con diversas coberturas, entre ellas: ortofotografías, modelos digitales del terreno de alta resolución, etc... Se planifica

un vuelo fotogramétrico único y periódico, se realiza un tratamiento riguroso de los datos, cumpliendo con diferentes especificaciones técnicas consensuadas entre todas las Administraciones Públicas participantes; en el vuelo PNOA, no solo se realizan fotografías aéreas, también se transportan sensores LIDAR, y de estos sensores se obtienen las diferentes coberturas con los datos LIDAR.

Finalmente se han utilizado los datos LIDAR para generar diferentes **modelos predictivos**, con el fin de obtener las variables de interés de los montes y extrapolar estas mismas a toda la zona de estudio.

1.3 Modelos

Los modelos explicativos pueden mostrar la interacción de las diferentes variables que conforman el sistema e indicar qué variables son más influyentes o determinantes en diferentes comportamientos y variaciones.

Los modelos predictivos son útiles para predecir diferentes comportamientos del sistema; por ejemplo, en el mundo forestal, se pueden predecir variables de interés de las masas forestales, la rentabilidad económica de una determinada gestión forestal en un determinado ecosistema, el comportamiento de los ecosistemas frente a una perturbación, cómo puede influir en un bosque un tipo de corta, qué puede pasar si no se produce ningún aprovechamiento. Toda esta información se puede cuantificar gracias a los modelos.

Es importante destacar otros usos de los modelos, por ejemplo, en el campo de los incendios forestales, se pueden obtener modelos de combustibles, con éstos se trata de explicar cómo pueden influir los combustibles en el comportamiento del fuego, además de introducir otras variables extrínsecas de la vegetación, como es la dirección del viento o la pendiente. También se pueden generar diferentes mapas de riesgo en los montes, (incendios, plagas, enfermedades, etc...).

2 OBJETIVO

El objetivo principal de este Trabajo Final de Master (TFM), es proporcionar una herramienta al gestor forestal, y dar un conocimiento global de la situación de estos montes.

Para efectuar este propósito es necesario cumplir con los siguientes objetivos:

- Recopilar y actualizar la información existente del conjunto de montes consorciados y conveniados de la zona de estudio.
- Generar diferente cartografía de las principales variables representativas de estos montes: Altura dominante (H_{dom}), Área Basimétrica (G), Volumen de madera existente (V) mediante diferentes modelos ajustados a partir de los datos de campo y las métricas LIDAR.
- Analizar de una manera global estos montes, e identificar las zonas con mejor calidad de estación; las diferentes zonas autofinanciables o no, de cara a un posible aprovechamiento forestal; establecer los niveles de competencia existentes en la masa a través del área basimétrica y las zonas con elevado riesgo de colapso.

El objetivo secundario, es determinar si el método de obtención del área basimétrica es relevante o no, a la hora de emplear los inventarios a través del LIDAR.

Como último objetivo es demostrar si tiene sentido la estratificación empleada, al separar la masa por métodos de repoblación: fajas y hoyos.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Zona de estudio

El sistema montañoso de tectónica alpina se estima que aproximadamente ocupa unos 400 kilómetros, desde la Sierra de la Demanda hasta el Mediterráneo, la parte en la que se centra el trabajo es la parte aragonesa, la cual corresponde al tramo central y centro oriental; esta zona presenta un relieve más alomado y discontinuo que el existente en los Pirineos. Las cotas más altas se sitúan en torno los 2000 m de altitud (Moncayo 2316 m, Javalambre 2020 m y Peñarroya 2019 m) es destacable indicar que predominan altiplanos cuya altitud no supera los 1500-1600 m.

El sistema ibérico zaragozano nace en la Sierra del Moncayo y se dispone en dirección NW-SE, presentando dos ramales que delimitan la depresión Calatayud-Daroca. La ramificación Norte comprende las sierras denominadas “*Sierra de la Virgen, Algairén y Vicort*”. La ramificación situada más en el Sur se compone por las sierras denominadas “*Sierra de Pardos y Santa Cruz*”. El origen de los materiales que conforman estas sierras determina su morfología y orografía. El caso de formaciones de pizarras ocasiona relieves más alomados y suaves, las composiciones formadas por materiales de origen cuarcítico generan una orografía más acusada y crestada.

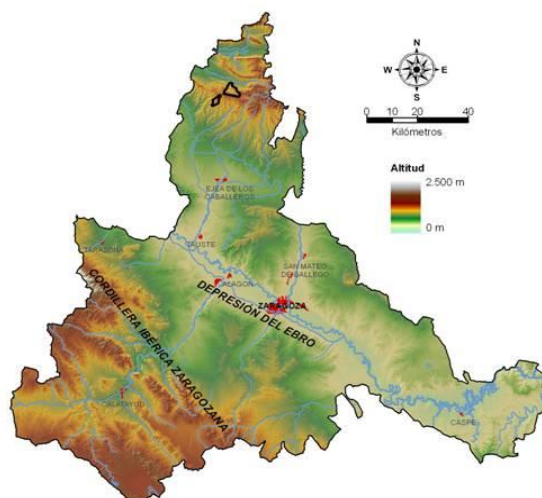
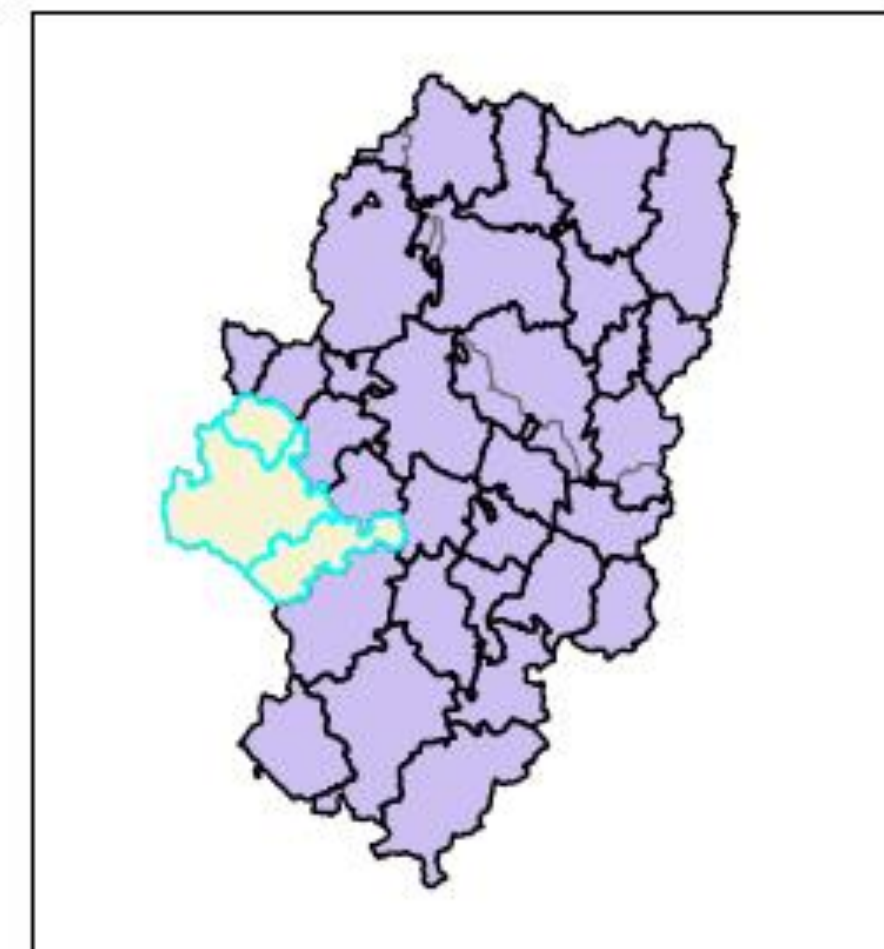
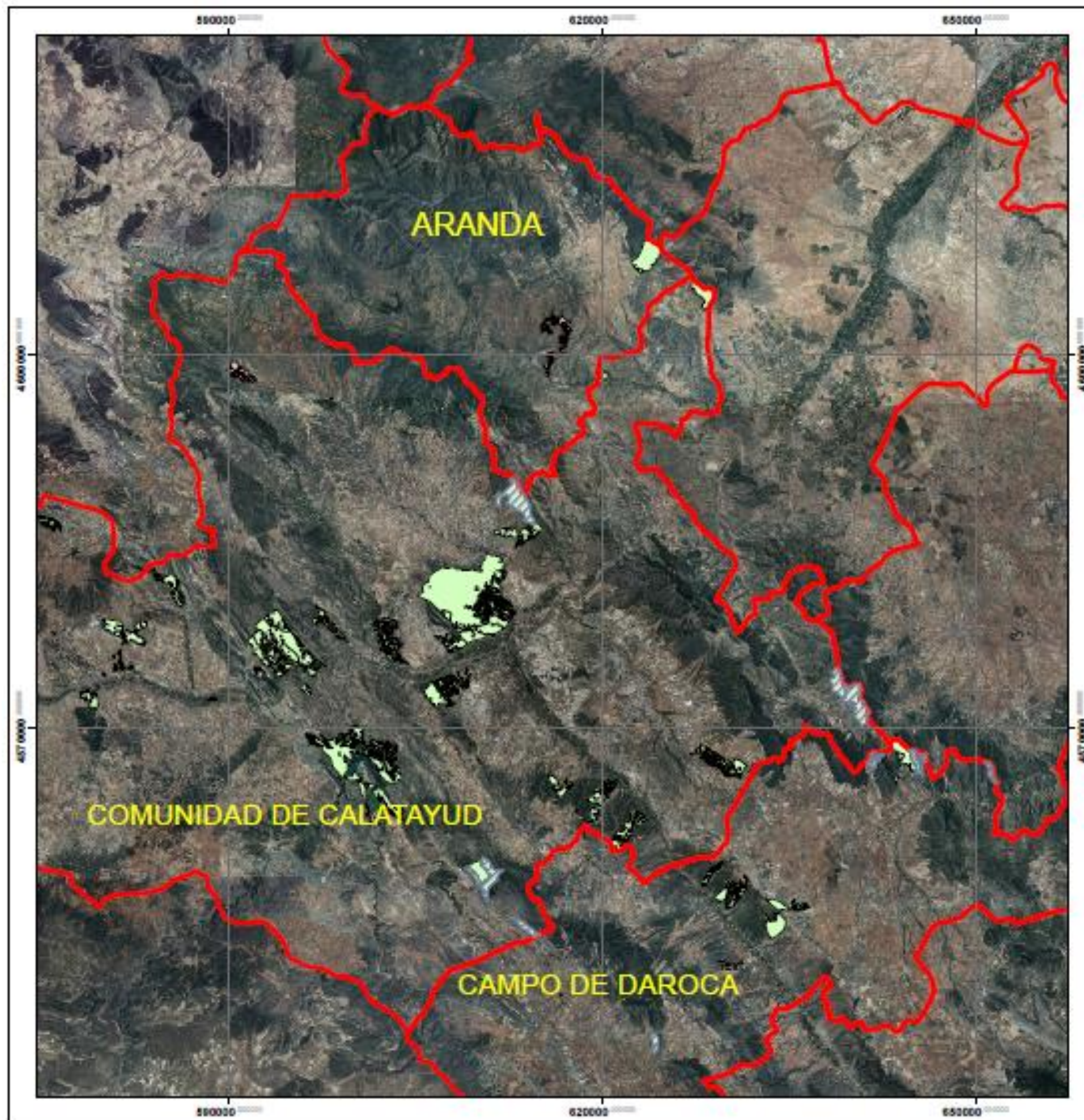


Ilustración 2. Mapa Físico de la Provincia de Zaragoza



Leyenda

- Montes no arbolados
- Montes diferente especie a Pinus halepensis
- Montes de Pinus halepensis



MAPA		MAPA DE LOCALIZACIÓN		
Plano				PLANO LOCALIZACIÓN
Escala		1:325000	Fecha	JUNIO 2017
Autor:	Por parte de la Admin:		Huix:	30
			Proyección:	U.T.M.
			Sist. Referencia:	ETRS 09

La superficie del conjunto de montes objeto de estudio según el Mapa Forestal Español (MFE) es el siguiente:

Tabla 1. Resumen de la Superficie por Clases de la zona de estudio según MFE

Superficie Arbolada (ha)	7968	63.74%
Superficie Pino carrasco	6153	77.23%
Superficie Pino resinero	232	2.92%
Superficie Pino laricio	89	1.12%
Sup desarbolada matorral y pastizal (ha)	3945	31.56%
Sup infraestructuras, artificial (ha)	23	0.19%
Sup bosques ribera (ha)	9	0.07%
Superficie Cultivos, pastizal artificial (ha)	554	4.43%
Superficie Agua (ha)	1	0.01%
<u>Área de estudio</u>	<u>12502</u>	<u>ha</u>

Toda esta superficie se reparte en 58 montes. De estos la especie principal es la siguiente:

Tabla 2. Relación del número de montes de la zona de estudio y su especie principal

Especie principal	Número de montes
<i>Pinus halepensis</i>	40
<i>Pinus pinaster</i>	12
<i>Pinus nigra</i>	3
No se repobló	3

3.1.1 Clima

En la zona de estudio, predomina el clima mediterráneo continentalizado. Lo normal es que la temperatura vaya aumentando paulatinamente en cuanto se descende por el curso de los ríos. La dinámica regional determina a nivel general una estación fría de octubre a mayo aproximadamente, se suele caracterizar con vientos húmedos y de baja temperatura procedentes del oeste y de borrascas del frente polar portadoras de lluvias, a no ser que se haya instalado alguna masa fría de procedencia continental, en este caso las precipitaciones son más escasas. En la estación cálida, con valores más extremos de temperatura durante julio y agosto, se suelen instalar altas presiones, normalmente suele afectar el anticiclón de las Azores, lo que impide la llegada de borrascas atlánticas y por

lo siguiente se genera una gran estabilidad evitando precipitaciones durante todo el verano. Las precipitaciones en este periodo suelen ser lluvias de convección, precipitaciones con alta intensidad en poco tiempo.

Los periodos otoñales y primaverales se caracterizan por ser muy cambiantes e inestables, debido a la alternancia de masas templadas y subtropicales que afectan a la Península Ibérica. Es notorio que por la geomorfología aragonesa; posición interior en la península, contrastado relieve entre la montaña y el llano formado por las diferentes depresiones de los ríos y en especial la configuración topográfica que determina una amplia cubeta encerrada entre elevadas cadenas montañosas, refuerzan una acusada continentalidad del clima.

3.1.1.1 Temperatura

Como se ha mencionado antes, la composición orográfica de Aragón es un factor determinante en el clima, la topografía de cubeta hace prever temperaturas elevadas, aunque las variaciones en altitud y los matices en la continentalidad determinan una gran diversidad en los regímenes térmicos.

Las temperaturas medias anuales en los valles oscilan en los rangos de 12-14 °C, en las sierras estas temperaturas medias disminuyen a rangos cercanos a los 10 °C.

En el periodo estival las temperaturas medias suelen oscilar entre los 22 °C exceptuando la zona de Moncayo, en la cual la temperatura media oscila sobre los 18 °C, lo que es reseñable en este periodo estival es que las temperaturas máximas alcancen con frecuencia los 35 °C llegando incluso en algunas ocasiones a los 40 °C.

Un elemento importante y que somete a un elevado estrés a la vegetación son las olas de calor que a veces se presentan en el verano, este suceso hace que las temperaturas máximas alcancen cifras de 38 °C y 44 °C y 22 °C para las mínimas. Normalmente esta situación se produce cuando la Península queda sometida por un lado a un aire seco y recalentado, procedente del continente europeo deshidratado por el efecto Foëhn al cruzar el Pirineo y por otro lado a un aire del sur que se reseca y recalienta en las zonas de interior.

3.1.1.2 Régimen pluviométrico

Las características principales del régimen pluviométrico de la zona son: la escasez de precipitaciones, la irregularidad interanual y el desigual reparto a lo largo del año. La distribución pluviométrica tiene clara dependencia del relieve. Los rangos de valores suelen ser inferiores a los 400 mm llegando a los 1000 mm en la cumbre del Moncayo. La distribución anual de precipitaciones indica que el periodo con mayor rango pluviométrico se produce durante la primavera y el otoño. En junio se suelen registrar lluvias por retraso del máximo de mayo. Los valores mínimos de precipitación suelen darse en los meses con mayor temperatura, julio y agosto, donde se inicia un periodo severo de déficit hídrico en el cual es solventado parcialmente por la actividad tormentosa.

3.2 Inventario Forestal

En este trabajo se ha utilizado la metodología a dos pasos, ya que es la que mejores resultados ofrece (Næsset, 2002). Esta metodología plantea establecer una relación entre las diferentes variables obtenidas en pequeñas parcelas de campo y los datos del escáner laser, con el fin de extrapolar estas relaciones a una gran superficie.

Partiendo de esta referencia se han utilizado los datos LIDAR y las diferentes variables obtenidas en campo para generar los **modelos predictivos**, y con éstos poder obtener las variables de interés de todos los montes de la zona de estudio.

Para establecer un modelo representativo a partir de los datos LIDAR ofrecidos por el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), es necesario planificar cuidadosamente la obtención de la información de campo.

3.2.1 Recopilación de datos

Lo primero que se ha realizado una vez definida el área de estudio y los montes situados en ella, ha sido una recopilación de los datos existentes de estos montes y de los que tienen similares condiciones (procedentes de repoblación y de la misma zona geográfica).

Los documentos e información recopilados han sido los siguientes: libro de registro de los montes consorciados y conveniados con los seguimientos de las repoblaciones, *Shapefile* de los consorcios, los diferentes inventarios forestales de la zona, informes de los APN y el Mapa Forestal Español aplicándolo a la zona de estudio. En el Apartado 1 de los anejos se adjunta un resumen de la base de datos.

Los inventarios forestales recopilados, reflejan la información de las parcelas de diferentes formas; por lo que se ha decidido utilizar la información de estas parcelas para la validación de los modelos (apartado 3.4.1.3) en vez de utilizarla para generar éstos.

Las parcelas están situadas en los montes: Z-2001, “*Armantes*” T.M. Calatayud; Z-0018, “*Salcedo*” T.M. Villarroya de la Sierra y Z-0314, “*El Común*” T.M. Tosos.

Los montes “Salcedo” y “El Común” son Montes de Utilidad Pública, y procedentes de repoblación. Estas parcelas de contraste resultan de Proyectos de Ordenación, realizados en los mismos.

Como se ha mencionado en el apartado 3.1, la zona de estudio presenta 58 montes, cada monte posee unas características específicas, por este motivo existe una gran cantidad de información recopilada. Con el objeto de gestionar ésta, se ha diseñado una base de datos con los campos necesarios para describir de una manera detallada los montes de la zona de estudio; se ha rellenado la base de datos mediante trabajo de gabinete al utilizar la información recopilada. La Tabla 3 refleja el diseño de una de las tablas de la base de datos.

Tabla 3. Descripción General de los Montes

<u>Campo</u>	<u>Tipo de datos</u>	<u>Descripción</u>
Código de monte	Texto	Código del monte
Nombre de monte	Texto	Nombre del monte
Propiedad del monte	Texto	Propietario del monte
Termino municipal	Texto	Lugar donde está el monte
Problemas	Si/No	Presenta algún problema
Descripción del Problema	Texto	Descripción del problema
Presentes en el Elenco	Si/No	Presentes en el Elenco
No Arbolado	Si/No	Esta arbolado
Enviado APN	Si/No	Se ha enviado informe al APN

Con el fin de implementar más información de los montes, se ha diseñado la Tabla 4. Datos de los consorcios vinculada a la Tabla 3 a partir de un campo común “*Código de monte*”.

Tabla 4. Datos de los consorcios

<u>Nombre del Campo</u>	<u>Tipo de datos</u>	<u>Descripción</u>
Código del Monte	Texto	Código del monte
Fecha de repoblación	Texto	Fecha en que se repobló
Método de repoblación	Texto	Si es a fajas o a hoyos
Especie principal	Número	Se utiliza código de IFN
Especie principal según MFE	Número	Se utiliza código de IFN
Superficie del consorcio según SIG	Número	Superficie polígono del monte
Cabida en las bases del consorcio	Número	Superficie indicada en el contrato
Actuaciones realizadas en el monte	Si / No	Si se realizó alguna actuación
Descripción dichas actuaciones	Texto	Que actuaciones se realizaron
Altura arbustiva	Número	Altura estrato inferior para tratamiento LIDAR
Acceso al monte, tipo de vías	Texto	Tipo de acceso al monte
Descripción de las vías	Texto	Descripción del estado viario del monte
Estado del monte y observaciones del APN	Texto	Observaciones del APN

Para completar la Tabla 4, ha sido necesaria la colaboración de los APN, debido a que la zona de estudio es muy dispersa y es necesario recopilar los datos “*in situ*”.

En la Tabla 4. Datos de los consorcios, se ha introducido un campo importante “*Altura arbustiva*” esta información se ha utilizado para parametrizar el ejecutable de FUSION “*Cloudmetrics*”. Dato aportado por el APN en el formulario rellenado por los mismos adjunto en apartado 2 del Anejo.

En cuanto a la vegetación, se ha comparado la información reportada por los APN con la información representada en el Mapa Forestal Español.

3.2.2 Variables a medir en el inventario

Las siguientes variables que se proceden a detallar en este documento, son las típicas que se obtienen en los inventarios forestales y reflejan el estado de la masa arbórea. Algunas se han utilizado como variables respuesta en los modelos empleados en este trabajo por ejemplo: Altura Dominante, Volumen y Densidad. Otras se han utilizado para obtener una variable respuesta, como es el caso del diámetro normal, utilizado con el fin de obtener el área basimétrica.

Altura Dominante (H_0): Con esta variable se puede establecer la calidad de estación de la masa, comparándola con las curvas de calidad para *Pinus halepensis* Mill reflejadas en la publicación de Montero et al. (2000).

- Se ha obtenido a través de la medición de la altura de los dos árboles más gruesos de cada parcela. Se han ejecutado 86 mediciones debido a que finalmente para *Pinus halepensis* se han realizado 43 parcelas. Estas mediciones se han relacionado con los datos estadísticos de la nube de puntos LIDAR para su posterior modelización.

Volumen (V) en m^3/ha : Con esta variable se establece la cantidad de madera existente por unidad de superficie.

- Se ha calculado a partir de la Ecuación 1 obtenida a través de los estudios realizados en el Servicio Provincial de Zaragoza (SPZ) de los montes públicos de *Pinus halepensis* MILL, procedentes de repoblación y situados en la provincia de Zaragoza, este estudio tiene como objetivo realizar tablas de producción de dicha provincia (no publicado a la fecha).

Ecuación 1 Estimación del Volumen

$$V = 0.1814 \cdot Dn^{2.2904}$$

Se ha empleado esta ecuación porque representa mayor ajuste a las condiciones biológicas de la zona de estudio, en comparación con otras publicaciones (G Montero et al., 2000), (“Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3),” 2006).

Diámetro normal (D_n) en cm: Esta variable se obtiene al medir los árboles dentro de la parcela a una altura de 1.30 m.

Densidad de árboles (N) en pies/ha: Esta variable mide el número de árboles por unidad de superficie.

- Se ha estimado a partir de la relación existente entre los pies inventariados en la parcela (N_p) y la superficie de esta (S_p), se ha calculado mediante la Ecuación 2.

Ecuación 2 Estimación de la Densidad

$$N = \frac{N_p}{S_p} \cdot 10000$$

El área basimétrica (G) en m²/ha: esta variable representa la suma de las secciones normales de todos los árboles de la parcela. Se ha medido mediante dos métodos:

El primero se ha medido mediante relascopio de cadena de Häglof, utilizando el BAF 1.

El segundo utilizado es midiendo los diámetros de los árboles situados en la parcela Dn y aplicando la Ecuación 3.

Ecuación 3 Estimación del Área Basimétrica

$$G = \frac{\pi}{4} \cdot \sum DAP^2 \cdot Sp$$

El diámetro cuadrático medio (Dg) en cm: es el diámetro normal del árbol que representa el promedio de los diámetros de los árboles de la parcela, es decir el diámetro del árbol tipo. Se calcula a partir de la siguiente Ecuación 4.

Ecuación 4 Estimación del Diámetro Cuadrático Medio

$$Dg = 100 \cdot \sqrt{\frac{G \cdot 4}{N \cdot \pi}}$$

3.2.3 Diseño de inventario forestal

Como criterio de estratificación provisional se ha procedido a utilizar dos propiedades de los bosques. Esta información se obtiene a partir de la información recopilada descrita en el apartado 3.2.1.

La primera peculiaridad es la especie principal de la masa, pudiéndose distinguir tres especies principales en estos bosques: *Pinus pinaster*, *Pinus nigra* y *Pinus halepensis*.

La segunda particularidad es el método de repoblación utilizado, pudiendo ser los siguientes: Repoblación a hoyos y Repoblación a fajas.

Este criterio provisional de estratificación se planteó de forma preliminar a la información aportada por los APN; en cuanto esta información fue recibida se completó la base de datos y se establecieron los criterios definitivos de estratificación.

La base de datos refleja que de los 37 montes en los cuales se tiene información; 31 tienen como especie principal *Pinus halepensis*, 4 montes tienen como especie principal *Pinus pinaster* y 2 montes *Pinus nigra*. Puede ser que algunos montes identificados de

Pinus halepensis tengan bosquetes de *Pinus nigra*, o *Pinus pinaster*, pero no es lo habitual.

Debido al elevado porcentaje de montes de *Pinus halepensis*, se ha modificado el criterio de estratificación, por lo tanto el criterio de agrupar los diferentes montes por especie se elimina, centrando el estudio solamente a los montes repoblados con *Pinus halepensis*, debido a que hay pocos montes con otra especie principal. El nuevo criterio de estratificación se ha establecido por método de repoblación, en el cual se diferencian dos grandes grupos:

- Por fajas.
- Ahoyado.

Los montes que han sido excluidos del criterio de estratificación, son los montes en los cuales la especie principal es diferente al *Pinus halepensis*, aun así, se han realizado inventarios forestales debido a que estos montes se sitúan dentro de la zona de estudio. En los montes con diferente especie principal al *Pinus halepensis* la intensidad de muestreo no ha sido suficiente para generar un set de datos robusto para ajustar los modelos. Esta información ha sido aportada al órgano gestor de estos montes.

Los montes en los cuales el método de repoblación ha sido un aterrazamiento, se ha clasificado en el grupo de ahoyado, ya que la variable de densidad se parece más a los casos de los montes repoblados a hoyos.

3.2.3.1 Intensidad de muestreo

El cálculo de parcelas necesarias para realizar un inventario LIDAR, no es el mismo que en los inventarios clásicos, el número de parcelas viene dado más por la variabilidad de la masa que por la superficie, según el proyecto de ordenación del monte de utilidad pública V095 “Sierra Negrete” siendo suficiente 20 parcelas por estrato (Maltamo et al., 2011) .

Según García et al. (2010), el número de parcelas ha de estar relacionado con la superficie, indicando que la superficie inventariada ha de estar entre el 0.1% - 1% del área de estudio.

Después de evaluar las dos opciones se ha decidido utilizar el criterio de 20 parcelas por estrato, debido a que la zona de estudio tiene una gran superficie, y en consecuencia se

tendría que realizar un gran esfuerzo técnico para cumplir con la metodología de muestrear 0.1 - 1% de la superficie.

Finalmente se han realizado 43 parcelas de *Pinus halepensis* de las cuales 25 parcelas son del estrato de *Pinus halepensis* ahoyado, y 18 parcelas *Pinus halepensis* fajas. También se han realizado 10 parcelas de *Pinus nigra* de las cuales 5 en fajas y 5 a hoyos, y 19 de *Pinus pinaster* de las cuales hay 5 en fajas y 14 en hoyos o a terrazas.

Debido a las pocas parcelas de *Pinus nigra* y *Pinus pinaster* para realizar un modelo, no se ha procesado esta información para esta finalidad, solamente se ha remitido al órgano gestor de estos montes.

3.2.3.2 Forma y tamaño de parcela

La forma de parcela es circular debido a que su relación de área y perímetro es la más óptima, además que es más fácil de replantar y de obtener información ya que solamente es necesario tener las coordenadas del centro de la parcela y saber el radio de la misma.

El tamaño de la parcela se ha decidido que sea de 10 m de radio, ya que de media, se inventariarían suficientes árboles; 25-30 dentro de la misma, optimizando así el tamaño de parcela, al utilizar este tamaño, la tesela de LIDAR ha de ser de 18 x18m. debido a que para tener un modelo más certero, el tamaño del píxel o tesela ha de ser el más parecido posible al de la parcela (Condés, 2013).

3.2.4 Ejecución del Inventario

Se ha realizado un muestreo dirigido, debido a que hay diversos condicionantes en la localización de las parcelas, en cuanto a método y logística.

El objetivo es hacer un inventario que pueda representar la máxima variabilidad posible en estos montes repoblados. Siendo las repoblaciones de por sí muy homogéneas. Los montes muestreados o inventariados en los que se han realizado parcelas han sido seleccionados, por condiciones de cercanía a Zaragoza y accesibilidad. Al utilizar diversos montes con diferentes características, se ha dado por hecho que las diferentes calidades de estación estarían representadas.

Las parcelas se han realizado en diferentes zonas, evitando lugares en los cuales distorsione el efecto borde (se observa que los árboles tienen más ramosidad y menos autopoda); originado por: pistas, caminos o claros más amplios de 0.5 ha. Se ha considerado que el efecto borde ya no afecta a la parcela, si ésta está situada a 30 metros de distancia (Estornell & Ruiz., n.d.), por esta razón, se ha resaltado previamente, las zonas bajo influencia de efecto borde. Esto se ha elaborado en gabinete mediante programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso Q gis, al utilizar la herramienta “*buffer*”.

La herramienta “*buffer*”, resalta el área de influencia, por ello se ha seleccionado los polígonos que representan: las pistas, caminos y claros de más de 0.5 ha considerados como originadores de efecto borde y se ha establecido una distancia de 30 m para generar las zonas bajo esta influencia. Finalmente se ha marcado ésta con un color. Con esto se ha conseguido generar una capa de polígonos (*Shapefile*), que destaca las zonas donde no se han de situar las parcelas.

El número de parcelas que se han realizado por monte oscila entre 7 y 9, con esto se aumenta la eficacia a la hora de realizar el muestreo. La situación de las parcelas se ha realizado en gabinete, utilizando el mapa topográfico (observando diferentes orientaciones, pendientes, fondos de valle etc.) y el ortofotomapa, (viendo las diferencias de vegetación y rugosidad). Con estos criterios se ha tratado de localizar las parcelas en diferentes sitios y con máxima variabilidad.

Una vez seleccionado el lugar de la parcela, se ha realizado un “*buffer*” de 10 m de radio, con el fin de determinar el tamaño real de la parcela y observar que ésta no se encuentra en la zona marcada como “*zonas afectadas por el efecto borde*” anteriormente descrita. Una vez realizado esto, se han apuntado las coordenadas.

El inventario ha sido ejecutado como mínimo por 3 personas, normalmente se ha contado con la colaboración de 2 APN y el ingeniero que suscribe este trabajo.

Las parcelas se han geolocalizado mediante sus coordenadas geográficas. Se ha establecido el centro de parcela y una vez establecido éste se ha comenzado a medir los siguientes parámetros:

- Los diámetros de todos los árboles situados a 10 metros del centro de la parcela.

- La altura de los 2 árboles más gruesos, con el fin de determinar la altura dominante.
- La altura del árbol representativo, fijando éste como el más cercano al diámetro medio.

El área basimétrica, se estimó mediante el relascope de cadenas. Cada persona presente en el muestreo, realizó una medición con el relascope, con estas mediciones se realizó la media aritmética con el propósito de reducir el sesgo de cada persona al realizar la medición.

Finalmente se han obtenido dos fuentes de datos de área basimétrica por parcela, una a través de la medición con relascope y la otra mediante la medición de los diámetros de los pies situados dentro de la parcela.

Finalizadas las mediciones, se procedió a realizar 3-4 fotos de la parcela, con el fin de ver el estado de la masa.

Con el proceso descrito se ha rellenado el formulario que se adjunta en el apartado 3 del Anejo y se ha presentado los resultados del inventario en el apartado 4 del Anejo.

.

3.3 Datos LIDAR

Como se ha mencionado en el apartado 1.2, se han utilizado los datos LIDAR del proyecto PNOA. El proyecto PNOA comienza en 2009, y concretamente los datos utilizados para este trabajo son obtenidos durante los meses de agosto y octubre del año 2010. (Ojeda & Martinez, 2017).



Ilustración 3. Vuelos del PNOA (Fuente IGN)

Esto significa que existe un desfase de 7 años entre los datos LIDAR y los datos de campo. Los bosques de la zona de estudio proceden de repoblación por lo que suelen tener una elevada densidad, en la mayoría de los casos no se ha hecho ningún tratamiento ni se han deshermanado. De media se ha establecido la edad de 60 años en todos los montes de la zona de estudio. Con toda esta información se establece que el crecimiento de estos bosques es muy escaso. Por esta razón, no se ha implementado ningún factor de corrección en cuanto al crecimiento para obtener las variables de la masa.

3.3.1 Características del vuelo LIDAR y especificaciones técnicas

Los sensores LIDAR empleados en el PNOA fueron un Leica ALS 60 y RIEGL LMS-Q680.

Las especificaciones técnicas del vuelo LIDAR son las siguientes:

- Máximo FOV permitido para planificar 50° efectivos.
- Frecuencia de escaneado mínima de 70 Hz, debiendo alcanzar un mínimo de 40 Hz con un FOV de 50°.
- Frecuencia de pulso de 45 kHz.
- Densidad promedio de 0.5 puntos del primer retorno por metro cuadrado (tramos 2 km de pasada).
- Sensor calibrado con una antigüedad menor de 12 meses.
- Recubrimiento transversal $\geq 15\%$.
- Longitud máxima de las pasadas 3 hojas MTN 50.
- Pasadas transversales de ajuste altimétrico.
- Precisión general altimétrica RMSE ≤ 0.20 m.
- Discrepancia altimétrica entre pasadas ≤ 0.40 m.
- Distancia a estaciones de referencia ≤ 40 km.

Los puntos georreferenciados son los principales resultados del vuelo y se exponen al público en el portal IGN, como un fichero en formato LAS, este formato ha sido desarrollado por la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, en unos ficheros con una extensión de 2x2 km. Estos ficheros LAS, se han generado a partir de un post-procesado de los datos LIDAR, con las siguientes especificaciones técnicas:

- Ajuste de fluctuaciones (en el caso de vuelos de 2009).
- Clasificación automática de los ficheros LAS.
- Edición para la obtención de la clase suelo depurado.
- Paso de elipsoidales a ortométricas mediante el modelo del geoide EGM08-REDNAP.
- Obtención de un MDT con paso de malla de 5x5.
- Obtención de un MDO con paso de malla de 5x5.

Estos archivos en formato LAS, poseen los puntos LIDAR georreferenciados en el DATUM ETRS 89, están distribuidos en la malla MTN25, y como indica el post procesado, se han clasificado los diferentes puntos: suelo, vegetación, agua, etc. Esto permite la utilización de estos archivos con una gran cantidad de información pero como ocupan demasiado espacio, se tienen que comprimir generando un archivo en formato LAZ.

3.3.2 Obtención de los datos LIDAR y procesado

Los datos LIDAR están disponibles en la página web del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en mallas de 2x2 km en formato LAZ, estos datos se han descargado de esta fuente y se han clasificado por monte. Cada monte está catalogado por su código.

Con el objetivo de no descargar más archivos LAZ de los necesarios, existe una opción en la página web del IGN en la cual al insertar una capa *shapefile* de corte, se descargan todas las hojas LAZ de 2x2 km que se superpone con dicha capa *shapefile*. Esta capa se ha de subir al servidor del IGN comprimida en WIN_ZIP y georreferenciada en WGS_84.

Se ha utilizado esta herramienta para descargar las hojas LAZ que se superponen con cada monte de la zona de estudio. Con los datos en formato LAZ no se pueden trabajar, para descomprimir los resultados del vuelo LIDAR, es necesario ejecutar el programa *Laszip*, los archivos descomprimidos quedan en formato LAS.

Con todo esto, ya se puede comenzar a trabajar con los datos LIDAR de cada monte. El programa utilizado para procesar y trabajar con esta nube de puntos se denomina FUSION.

En el programa FUSION, existen varios ejecutables, con los cuales se ha comenzado por generar un Modelo Digital de Elevación (MDE), para ello se ha utilizado los datos clasificados por el PNOA como suelo. Este MDE tiene una elevada resolución y representa la superficie del suelo, pero también contiene los datos de altitud de cada punto, de este modelo se puede obtener pendiente, orientación, curvas de nivel, etc.

Para obtener este MDE se ha utilizado el ejecutable de FUSION “*Gridsurfacecreate*” en el cual se ha establecido los siguientes parámetros: El tamaño de pixel de 18x18 m,

el metro como sistema de unidades y el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator).

Después de este MDE, se ha generado un Modelo Digital de Superficie (MDS), en el cual se utilizan los datos de los primeros retornos, los cuales representan las copas de los árboles.

Para obtener el MDS, se ha utilizado el ejecutable de FUSION “*Canopymodel*” en el cual se ha establecido los siguientes parámetros: El tamaño de pixel de 18x18 m, el metro como sistema de unidades y el sistema de coordenadas UTM.

Una vez obtenido el MDS y el MDE, se ha procedido a normalizar esta nube de puntos, este proceso se ha ejecutado de la siguiente manera MDS –MDE, debido a que el MDS, tiene los datos de las copas con la altitud sobre el nivel del mar y no sobre el suelo. Al restarle el MDE, este factor se elimina, quedando así la elevación de las copas sobre el suelo.

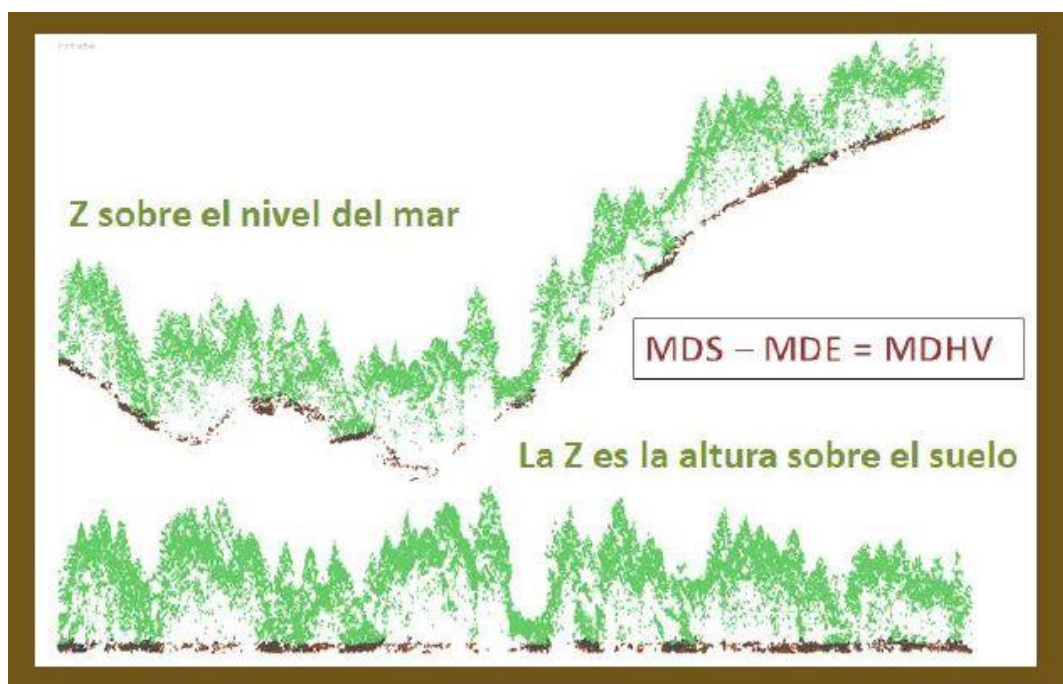


Ilustración 4. Normalización de la nube de puntos LIDAR (Fuente: Rodríguez y Fernández)

Una vez obtenido el Modelo Digital Altura de Vegetación (MDHV) se ha procedido a obtener los diferentes datos estadísticos de la nube de puntos. Un ejemplo: el porcentaje

de los primeros retornos, puede representar con elevada precisión la Fracción de Cobertura (FCC).

Para obtener los datos estadísticos LIDAR se ha utilizado el ejecutable de FUSION “*Gridmetrics*”, el cual obtiene todos los datos estadísticos LIDAR del conjunto de datos, y como resultado ha generado dos archivos de salida en formato “.CSV” delimitado por comas.

El primer archivo en formato .CSV refleja todas las estadísticas de elevación de la nube de puntos, estos datos estadísticos se representan en la Tabla 5 y han sido utilizados con el fin de establecer una relación entre los datos de la Tabla 5 y las variables obtenidas en campo.

El otro archivo en formato .CSV refleja todas las estadísticas de intensidad de la nube de puntos, datos que no se han empleado.

Los parámetros utilizados han sido los siguientes:

- Altura de computación 2 metros.
- Tamaño de pixel 18 x18m.
- Límite de cálculo de la cobertura arbórea: altura arbustiva, esta información viene reflejada en la base de datos y no es un valor fijo debido a que cada monte tiene su propia altura arbustiva.

Este es el primer paso del procesamiento de los datos LIDAR, al obtener los datos de campo y georreferenciadas las parcelas, ha sido necesario el siguiente paso:

Relacionar los datos estadísticos LIDAR de la nube de puntos con los datos de las parcelas. Para ello se ha utilizado el ejecutable “*cloudmetrics*” de FUSION, el cual corta la nube de puntos a través de las coordenadas de la parcela. Con este paso se han obtenido los datos estadísticos LIDAR de la misma parcela utilizada en el inventario forestal. Después se ha relacionado mediante regresión lineal, los datos estadísticos LIDAR con las variables de interés obtenidas en el inventario (el inventario queda explicado anteriormente en el apartado 3.2).

Los datos estadísticos LIDAR que han sido empleados para relacionarlos con las “variables respuesta” obtenidas en campo, son las que se muestran en la Tabla 5.

Equivalencia entre mediciones LIDAR obtenidas con FUSION y la nomenclatura empleada en las variables utilizadas en la modelización.

Tabla 5. Equivalencia entre mediciones LIDAR obtenidas con FUSION y la nomenclatura empleada en las variables utilizadas en la modelización

<u>Variables</u>	<u>Explicación de la Variable</u>	<u>Equivalencia en FUSION</u>	<u>Tipo de variable</u>
Ho	Altura dominante (m)	-	Variable respuesta
N	Densidad (pies/ha)	-	Variable respuesta
G	Área Basimétrica (m ² /ha)	-	Variable respuesta
DG	Diámetro cuadrático medio (cm)	-	Variable respuesta
V	Volumen (m ³ /ha)	-	Variable respuesta
%retornos sobre 3	Porcentaje de todos los retornos sobre 3 metros	Percentage returns above 3 m	Variable explicativa
LFCC	Fracción de cabida cubierta medida con Lidar	Percentage firs returns above x meters	Variable explicativa
LH_min	Mínima altura medida con Lidar	Elev minimum	Variable explicativa
LH_max	Máxima altura medida con Lidar	Elev maximum	Variable explicativa
LH_mean	Altura media medida con Lidar	Elev mean	Variable explicativa
LH_mode	Moda de las alturas medida con Lidar	Elev mode	Variable explicativa
LH_SD	Desviación estándar de la altura medida con Lidar	Elev stddev	Variable explicativa
LH_Var	Varianza de la altura medida con Lidar	Elev variance	Variable explicativa
LH_CV	Coficiente de variación de al altura medida con Lidar	Elev CV	Variable explicativa
LH_IQ	Rango intercuartílico de la altura medida con Lidar	Elev IQ	Variable explicativa
LH_SK	Skewness de la altura medida con Lidar	Elev Skewness	Variable explicativa
LH_Kur	Kurtosis de la altura medida con Lidar	Elev kurtosis	Variable explicativa
LH_AAD	Desviación media absoluta de la altura medida con Lidar	Elev AAD	Variable explicativa
LH_01	Percentil 1 de la altura medida con Lidar	P01	Variable explicativa
LH_05	Percentil 5 de la altura medida con Lidar	P05	Variable explicativa
LH_10	Percentil 10 de la altura medida con Lidar	P10	Variable explicativa
LH_20	Percentil 20 de la altura medida con Lidar	P20	Variable explicativa
LH_25	Percentil 25 de la altura medida con Lidar	P25	Variable explicativa
LH_30	Percentil 30 de la altura medida con Lidar	P30	Variable explicativa
LH_40	Percentil 40 de la altura medida con Lidar	P40	Variable explicativa
LH_50	Percentil 50 de la altura medida con Lidar	P50	Variable explicativa
LH_60	Percentil 60 de la altura medida con Lidar	P60	Variable explicativa
LH_70	Percentil 70 de la altura medida con Lidar	P70	Variable explicativa
LH_75	Percentil 75 de la altura medida con Lidar	P75	Variable explicativa
LH_80	Percentil 80 de la altura medida con Lidar	P80	Variable explicativa
LH_90	Percentil 90 de la altura medida con Lidar	P90	Variable explicativa
LH_95	Percentil 95 de la altura medida con Lidar	P95	Variable explicativa
LH_99	Percentil 99 de la altura medida con Lidar	P99	Variable explicativa

3.4 Estimación de las principales características de la masa forestal a partir de datos LIDAR

3.4.1.1 Evaluación y análisis del modelo

En este apartado, se explica la metodología empleada para generar los diferentes modelos a partir de la relación existente entre, los datos estadísticos procedente de la nube de puntos LIDAR y las diferentes parcelas de campo.

Estos datos estadísticos LIDAR se han utilizado como variables explicativas del modelo y se han relacionado con las variables respuesta que son las obtenidas en el inventario realizado durante este trabajo (datos de campo) Todas las variables empleadas se representan en la Tabla 5.

Se ha utilizado el software R, y el paquete R commander; este software es un programa de libre disposición con múltiples funciones, la utilización de este programa en este trabajo es de uso estadístico. Con este programa se han realizado los análisis de las variables, los ajustes y la evaluación de los modelos y su posterior validación.

Método de modelización:

Los modelos se han obtenido mediante regresión lineal, en algunos casos se han tenido que linealizar debido a que se han presentado relaciones potenciales y exponenciales, para ello se han empleado logaritmos en estas expresiones matemáticas. Además de esta transformación, se han tenido que utilizar radicales en otras expresiones para disminuir la dispersión de los valores y aumentar el ajuste.

Linealización mediante logaritmos: se ha transformado una función potencial o exponencial en una función lineal mediante logaritmos, al realizar esta transformación se ha incurrido en un sesgo o error en los cálculos (Baskerville, 1972). Para disminuir este error producido, se ha multiplicado el resultado final por el siguiente Factor de Corrección (FC), representado éste en la Ecuación 5 (Sprugel, 1983).

Ecuación 5 Factor de corrección del sesgo al linealizar

$$CF = e^{\frac{SEE^2}{2}}$$

SEE: es el error estándar residual.

3.4.1.2 Toma y análisis de datos con ajuste estadístico:

Se han analizado las variables de entrada, con el fin de identificar datos no válidos; adicionalmente se ha evaluado gráficamente la relación existente entre las variables explicativas y las de respuesta, para determinar el tipo de relación existente entre ellas.

En la parte inicial del proceso se han realizado con elevada frecuencia combinaciones (prueba y error), entre las variables explicativas procedentes de los datos estadísticos LIDAR y las variables respuesta procedente de los datos de campo. En muchas ocasiones no ha habido resultados concluyentes y no se ha establecido relación, ni se ha identificado qué variables tienen mayor grado de significación. Para establecer esta relación y el grado de significación de estas variables se ha utilizado un proceso iterativo en R commander mediante el ejecutable “*Ajuste de modelo paso a paso*”.

3.4.1.3 Evaluación del modelo:

Se han realizado dos tipos de análisis de los modelos:

- **Evaluación cuantitativa:** este tipo de evaluación es un análisis estadístico del modelo en sí, en el cual se determina estadísticamente el ajuste que tiene el modelo con la realidad. Las diferentes pruebas y test que se han empleado son los siguientes:
 - Observar el coeficiente de determinación R^2 : Cuanto más cercano a 1 mejor, este coeficiente muestra la proporción de variación de la variable “Y” (variable respuesta) que es explicada por la variable “X” (variable predictora). Si este valor fuera 1 la variable predictora explicaría toda variación de “Y”, y la predicción no tendría error. Además indica el grado de correlación existente entre las dos variables debido a que es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson.
 - Observar el error del modelo: Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE): Este valor indica el ajuste del modelo, ya que obtiene el valor del error medio del modelo, cuanto mayor sea el valor del error peor ajuste tiene el modelo. Mantiene las unidades de la “variable respuesta”.
 - Normalidad de los residuos: Un supuesto básico del modelo de regresión lineal, es que los errores tengan distribución normal.

$$Y = B + Bx + u, \text{ ó bien, } Y = XB + u \quad \text{donde } u \sim N(0, \sigma^2)$$

Con el cumplimiento del supuesto de normalidad, se tiene una justificación teórica para poder utilizar diferentes pruebas estadísticas que empleen distribuciones normales.

En el caso de muestras pequeñas, es recomendable utilizar el test de Saphiro Wilks, que es el test de contraste que se ha utilizado para identificar la distribución normal de la muestra.

- Test de linealidad: Si se ha realizado un modelo lineal, las variables han de estar relacionadas linealmente. Este test de contraste analiza los residuos del modelo.
- Test de homocedasticidad: Este test de contraste analiza los residuos del modelo y determina si la variabilidad del error es constante al aumentar los valores de la “variable respuesta”. Lo ideal en un modelo es que sea homocedástico.
- Test de multicolinealidad (VIF): Cuando existen dos o más variables explicativas fuertemente interrelacionadas resulta difícil medir sus efectos individuales sobre la “variable respuesta”. Este factor es determinante en modelos explicativos donde se busca la importancia de las variables en el sistema. En modelos predictivos no es recomendable que haya variables altamente relacionadas, pero no es determinante. Este test determina el grado de correlación entre las variables explicativas del modelo.
- Observar gráficamente la distancia de Cook: Este test gráfico indica valores atípicos que influyen de una manera determinante en el modelo.
- Criterio de información Akaike (AIC): Es un factor que determina la calidad relativa de un modelo, para un conjunto de datos. Este factor proporciona información de cara a la selección de un modelo; el AIC relaciona la bondad de ajuste y la complejidad del modelo (un modelo cuanto más simple mejor, pero puede que no se ajuste tan bien como otro

más complejo), este factor no realiza ninguna prueba de hipótesis nula. Cuanto menor sea este valor mejor es el modelo.

- **Evaluación cualitativa:** este tipo de evaluación mide la coherencia biológica del mismo.

La coherencia biológica se ha comprobado con la ejecución del modelo, mediante la observación numérica de los resultados y la representación cartográfica de los mismos. En la cartografía, se han realizado las siguientes observaciones:

- Determinar si la calidad de estación aumenta en zonas de umbría o en las zonas de los bordes con más incidencia lumínica.
- Ver si el modelo responde lógicamente en las zonas con poca vegetación.
- Observar la relación entre las zonas de mayor calidad de estación con las zonas con más existencias.

3.4.1.4 Validación del modelo

- El ajuste del modelo se ha evaluado mediante 28 parcelas sin relación con el set de datos utilizado para confeccionar los modelos y procedentes de los siguientes montes:
 - 2 parcelas Z-2001, “*Armantes*” T.M. Calatayud.
 - 2 parcelas Z-0018 “*Salcedo*” T.M. Villarroya de la Sierra.
 - 24 parcelas Z-0314, “*El Común*” T.M. Tosos).
- Esta información es la referida en el apartado 3.2.1, del documento. Se ha comparado la información de campo de las parcelas con los diferentes resultados de los modelos y se ha observado el error cuadrático medio, éste relaciona los valores esperados (resultados del modelo) y los valores obtenidos en campo (Gauch, Hwang, & Fick, 2003).

3.4.2 Modelo de la Altura Dominante (H_0)

Se ha evaluado gráficamente las diferentes relaciones existentes entre las variables explicativas “ LH_mean ; $LH_10....LH_99$ ”; con la “variable respuesta” H_{dom} , en algunos casos al ver la existencia de gran variabilidad, se ha utilizado los radicales con el fin de reducir la variabilidad de los datos H_{dom} y $LH_10....LH99$.

Uno de los gráficos más significativos ha sido el que se muestra en la Ilustración 5, se puede observar una relación lineal entre la altura dominante y la variable explicativa LH_95 .

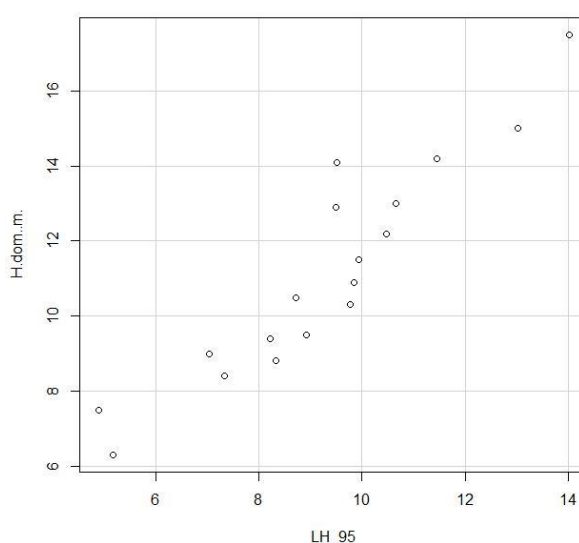


Ilustración 5. Relación entre Altura Dominante y estadístico LIDAR

Se han introducido en el modelo todas las variables explicativas relacionadas con la altura “ LH_mean ; $LH_10...LH_99$ ”, Se han relacionado las variables “ LH_99 y LH_95 ” en una única expresión, debido a que son los percentiles más elevados pero debido a su alta correlación las variables pierden significación.

Finalmente se ha ejecutado “*Selección de modelo paso a paso*”, con este proceso se ha obtenido varios modelos para la altura dominante, y solamente se han representado los más precisos.

3.4.3 Modelo del Volumen (V)

Se ha evaluado gráficamente cómo se relacionan algunas variables explicativas con el volumen, para ello se han realizado gráficos de las variables explicativas “*LH_10...LH_99; LH_mean; LH_mode; LFCC; % de primeros retornos sobre 3...*”. Al comparar los gráficos se ha podido observar que normalmente las variables de volumen y los percentiles se comportan de forma lineal, mientras que las variables de porcentajes de retornos se relacionan de forma potencial o exponencial, incluso en algunas variables no es posible establecer relación alguna.

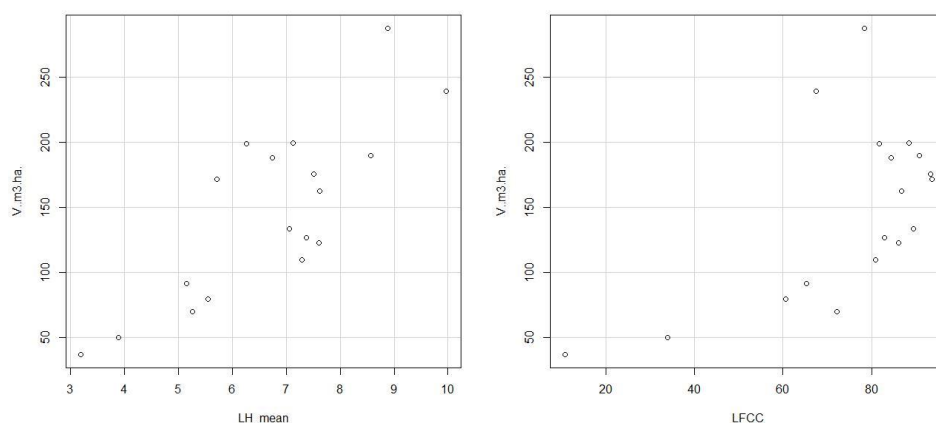


Ilustración 6. Relación Volumen y estadísticos LIDAR

Al terminar el análisis gráfico se han realizado diferentes pruebas, relacionando diferentes variables, aplicando modelos vistos en bibliografía (Cabrera, Lamelas, & Fernández, 2013),(García et al., 2010), (Maltamo et al., 2005), estos modelos no se han ajustado con los datos obtenidos en este estudio, pero han dado pistas de qué variables ofrecen mejor ajuste.

Para ello se han llevado a cabo diferentes combinaciones entre los percentiles “*LH_10, LH_50...LH_99*” y diferentes transformaciones logarítmicas: la “variable respuesta” “*V*” y los percentiles “*LH_10; LH_20; LH_60...LH_99; LH_mean; LH_mode*”. Se han combinado éstos percentiles con los diferentes datos que representan porcentajes de retornos y con las correspondientes transformaciones logarítmicas de todas las variables “*LFCC; % primeros retornos sobre 3; % primeros retornos sobre la media; %*

primeros retornos sobre la moda; % retornos sobre la media; % retornos sobre la moda...” finalmente se ha ejecutado la función “selección de modelo paso a paso”, y con ello se han obtenido los diferentes resultados.

3.4.4 Modelo de Densidad (N)

La estimación de la “variable respuesta” densidad N (pies/ha), a partir de los datos estadísticos LIDAR, normalmente posee un elevado error en el modelizado (Curso Ordenación Aragón; 2016). Al realizar diferentes graficas de dispersión entre variables explicativas “LH_05...LH_99; LH_mean; LH_mode; LFCC; % de retorno; etc...” y en este caso la variable dependiente N, es costoso determinar un tipo de relación, descartando principalmente una relación lineal.

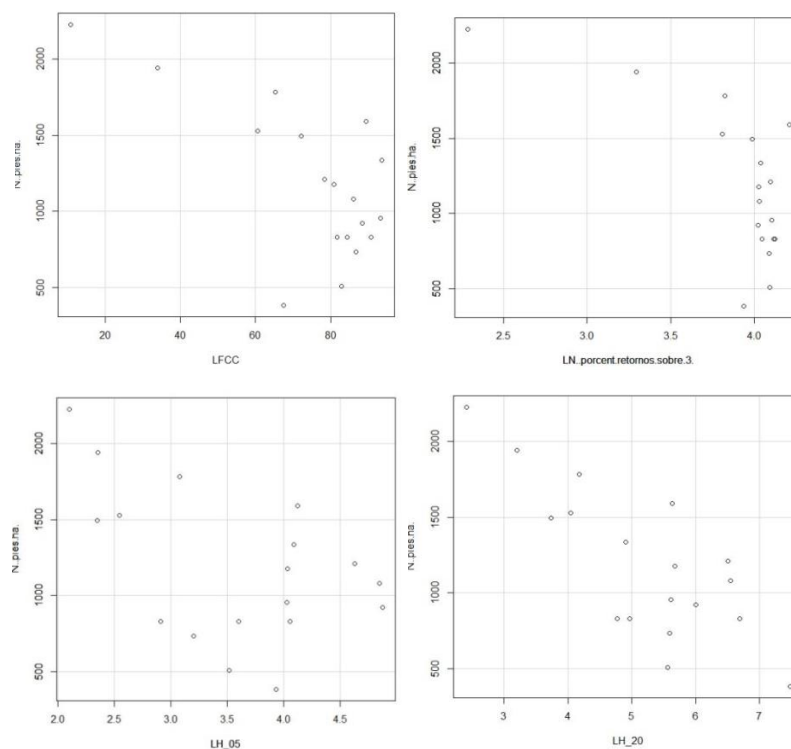


Ilustración 7. Relación N y estadístico LIDAR

Como no se ha establecido ningún tipo de relación se ha ejecutado el proceso de iteración con el ejecutable de R “selección de modelo paso a paso”, se han empleado

distintas variables explicativas “*LH_10; LH_20; LH_95; LFCC; % de retornos*” y sus diferentes transformaciones.

3.4.5 Modelo de Área basimétrica (G)

En este apartado, se tienen dos fuentes de datos de área basimétrica: una es a través de los diámetros medidos en la parcela, y aplicando la Ecuación 3 Estimación del Área Basimétrica.

Y la otra fuente es mediante el relascopio de cadena de Häglof.

El objetivo de obtener el mismo dato mediante dos metodologías es determinar si la utilización de una de las dos metodologías, se ajusta mejor en el modelo, si es indiferente obtener los datos de una manera u otra, o si es necesario generar dos modelos diferentes, uno para cada metodología.

Se han realizado diversas gráficas de dispersión relacionando la variable explicada G y diferentes variables explicativas “*LH_05...LH_50; LH_75...LH_99; LH_mode; LH_mean; % de retornos; LFCC;*

Se ha ejecutado “*selección del modelo paso a paso a paso*” y se ha introducido las variables “*LH_05...LH_50; LH_75...LH_99; LH_mode; LH_mean; diferentes % de retornos; LFCC;* y sus transformaciones.

3.5 Cartografía

La cartografía se ha generado al representar espacialmente los resultados de los modelos expresados en el apartado 4, aplicando dichas expresiones en la base de datos del fichero en formato CSV referido en el apartado 3.3.2. Todo el proceso se ha realizado para cada monte.

El archivo en formato “CSV” contiene los datos estadísticos de nube de puntos LIDAR indicados en la tabla 5 y georreferenciados cartográficamente.

Adicionalmente, se ha introducido la base de datos en formato CSV en un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) en este caso Qgis 2.18.3. Los datos representados en puntos se han combinado con una malla cuadrícula. Esta malla cuadrícula se ha generado previamente con un ejecutable de este programa y con un tamaño de celda de 18x18m. Con esta combinación se ha creado una malla en formato *Shapefile*, que contiene toda la información de la base de datos.

Con el objeto de representar cada “variable respuesta” de una manera continua ha sido necesario “*Rasterizar*” esta malla, para ello se ha ejecutado la herramienta “*Polygon to Raster*” presente en el programa SIG; Arcgis Desktop 10.1.

Finalmente, para expresar esta información de una manera cualitativamente mejorada, se han agrupado los datos en diferentes grupos o clases que se detallan en los apartados 3.5.1.; 3.5.2.; 3.5.3.

NOTA- La variable explicativa **Densidad (N)** no se ha representado en los mapas. Debido a que la información que aportan estos mapas no es significativa y se ha preferido no representarla cartográficamente.

3.5.1 Reclasificación de la Altura Dominante (H₀)

Para esta “variable respuesta” se ha reclasificado utilizando las curvas de calidad de estación para *Pinus halepensis*. Mill, (G Montero et al., 2000).

Se establecen 4 curvas, que representan 4 calidades de estación denominadas:

- Calidad 20
- Calidad 17
- Calidad 14
- Calidad 11

Estas denominaciones de calidades de estación indican la altura dominante de la masa en una edad de 80 años, como muestra la Ilustración 8.

Los valores obtenidos en los mapas han sido diversos, existiendo valores fuera del rango de dichas curvas. Los valores inferiores a 9 metros se han mantenido, debido a que esta información también es relevante para el gestor forestal.

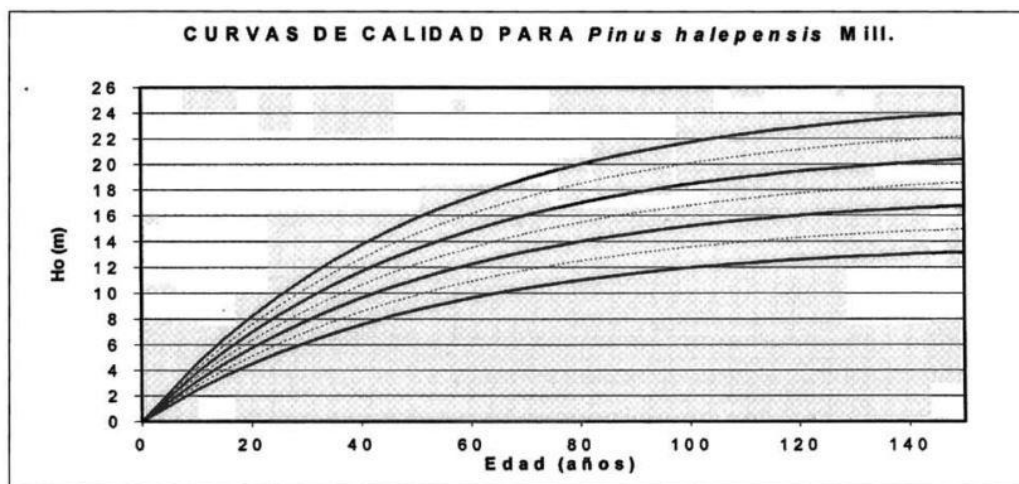


Ilustración 8. Curvas de Calidad de estación para *Pinus halepensis* (G Montero et al., 2000)

Los montes de la zona de estudio tienen una edad media de unos 60 años, por lo cual se mantienen las mismas categorías, pero se cambian los rangos de valores.

Al seguir las curvas representadas en la Ilustración 8. Curvas de Calidad de estación para *Pinus halepensis*, y al establecer la edad a 60 años se han obtenido los siguientes grupos.

Tabla 6. Reclasificación de la Altura Dominante

<u>Nombre de clase</u>	<u>Rango de valores</u>
Calidad 20	>16
Calidad 17	13-16
Calidad 14	11-13
Calidad 11	9-11
6-9	6-9
2-6	2-6

3.5.2 Reclasificación del Volumen

El criterio para clasificar esta variable, se traduce en dos grandes grupos.

- No autofinanciable.
- Autofinanciable.

Se establece como no autofinanciable las zonas en las cuales hay menos de 70m³/ha (Tolosana, 1999).

Por el contrario se establece como autofinanciable las zonas cuyas existencias son superiores a 70m³/ha.

Dentro de este grupo se han clasificado los valores en rangos de 30 en 30, hasta 250 m³/ha, se establece este límite superior porque en este tipo de masas (especie, edad y calidad de estación) los valores máximos obtenidos en diferentes aprovechamientos han sido de 250 m³/ha.

La reclasificación del volumen se obtiene finalmente, estableciendo el criterio mostrado en la Tabla 7. Reclasificación del Volumen.

Tabla 7. Reclasificación del Volumen

<u>Nombre de clase</u>	<u>Rango de valores m³/ha</u>
No autofinanciable	< 70
70-100	70-100
100-130	100-130
130-160	130-160
160-190	160-190
190-220	190-220
220-250	220-250
>250	>250

3.5.3 Reclasificación del Área Basimétrica (G)

Esta variable explicativa, es muy importante para el gestor forestal, debido a que expone el nivel de competencia existente. Esta variable relaciona el diámetro cuadrático medio con la densidad de árboles.

Como finalmente no se ha generado ningún mapa de densidad (N), la única forma de representar este concepto es mediante el Área Basimétrica (G).

Como se ha podido observar, la mayor parte de estos montes poseen un diámetro cuadrático medio que oscila entre Ø15 a Ø25 cm. Es importante resaltar que en algunos montes no ha habido tratamientos silvícolas, lo que se traduce en un crecimiento secundario muy escaso. Planteando esto y observando diferentes diagramas de manejo de la densidad (Gregorio Montero & Cañellas, 2001) se establece que el óptimo G para estos montes oscila entre 20-30 m²/ha, indicando que entre 30-35 m²/ha, comienza a denotarse excesiva competencia.

Con este planteamiento se establece el siguiente criterio para reclasificar estos mapas:

Tabla 8. Reclasificación provisional del Área Basimétrica G

<u>Nombre del grupo</u>	<u>Valores m²/ha</u>
Espesura Deficiente	0-20
Espesura Normal	20-35
Espesura excesiva	>40

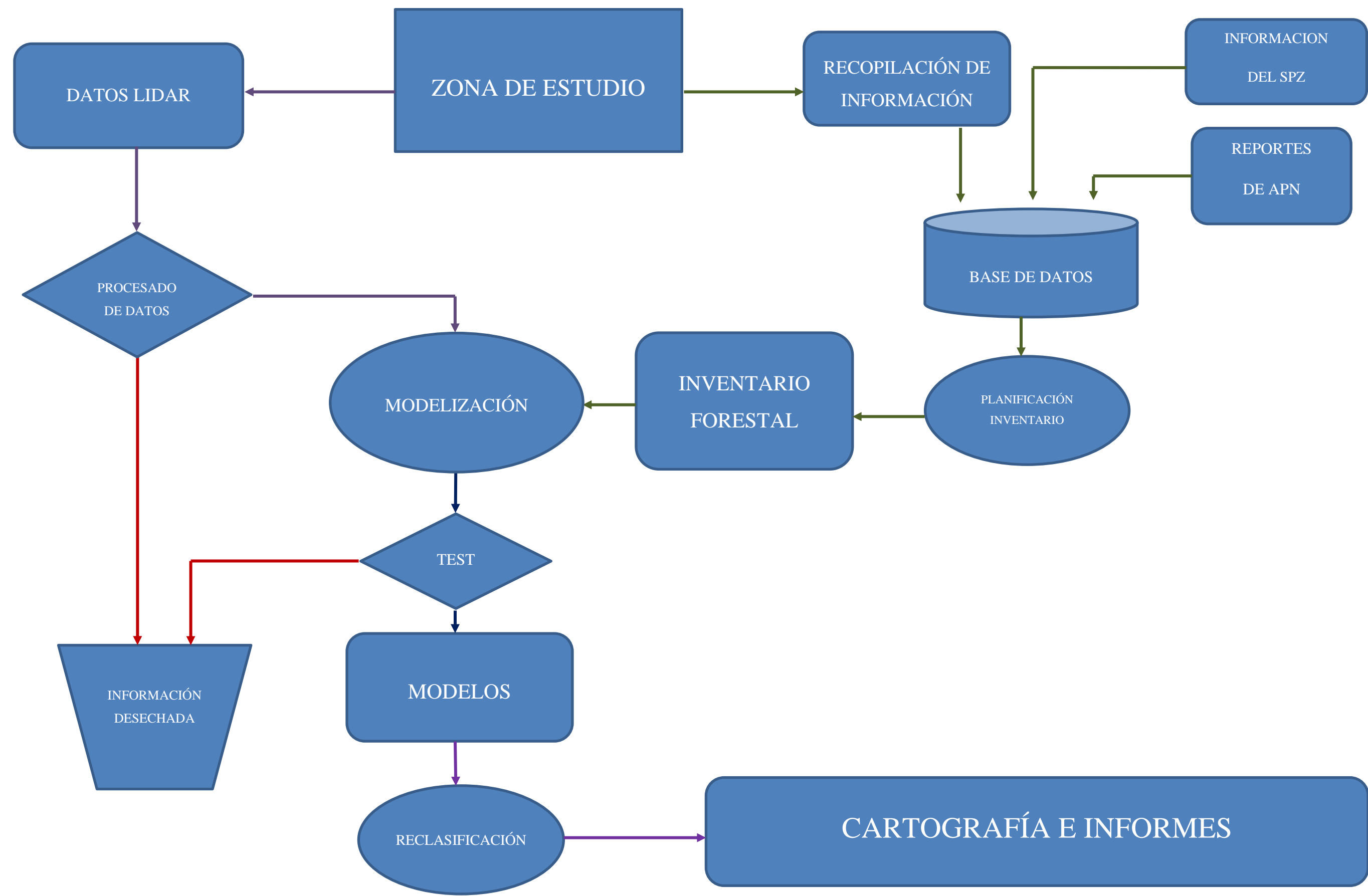
El problema se presenta en que si se reclasifica en estos tres grupos se pierde mucha información, por esta razón se mantiene una cierta similitud en los colores dentro de cada grupo.

Reclasificación final.

Tabla 9. Reclasificación final del Área Basimétrica G

<u>Nombre del grupo</u>	<u>Valores m²/ha</u>
<10	<10
10-20	10-20
25-30	25-30
30-35	30-35
35-40	35-40
40-50	40-50
>50	>50

3.6 Diagrama del proceso seguido para obtener los resultados



4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Recopilación de Datos

Los datos recopilados referidos a la vegetación, se ha comparado la información reportada por los APN con la información representada en el Mapa Forestal Español. El resultado de la comparación es que la información de ambas fuentes de datos es muy parecida, habiendo divergencia en tan solo 2 montes de los 58 estudiados. Por lo que se puede establecer que el MFE, es una fuente fiable de información para determinar la especie principal de alguna zona.

4.2 Modelos

A continuación, se procede a representar los resultados de la modelización descrita en el apartado 3.4, y a realizar una discusión de estos resultados.

Como veremos en los siguientes apartados, 4.2.1; 4.2.2 y 4.2.3, para algunas variables, como la altura dominante y el volumen, se han formulado 3 modelos diferentes para el estrato fajas, uno para hoyos y una global sin estratificar o como un estrato único. Para otras como la densidad se formulan 2 modelos para el estrato fajas. Ya se ha comentado en el apartado 3.4.2, que se calcularon un número de ecuaciones mucho mayor, representando únicamente los modelos con mejores resultados. Para altura dominante y volumen se presentan los tres modelos sobre el estrato fajas para mostrar la metodología utilizada para la obtención y análisis de resultados. Para el resto de variables se ha optado por presentar exclusivamente los mejores resultados obtenidos, con la finalidad de mostrar sólo la información relevante.

4.2.1 Altura Dominante

Tabla 10. Resultados de los Modelos de Altura Dominante

<u>Estrato</u>	<u>Modelo</u>	<u>Ecuación</u>	<u>RMSE</u>	<u>R²</u>	<u>AIC</u>
En fajas	Mod 1	$H_o = 1.0641 + 12.7957 \cdot LH_{75} - 13.7060 \cdot LH_{80} + 2.0658 \cdot LH_{99}$	0.79	0.93	47.9
En fajas	Mod 2	$H_o = 0.1524 + 1.0979 \cdot LH_{99}$	1.05	0.88	56.6
En fajas	Mod 3	$H_o = 0.53 + 1.1472 \cdot LH_{95}$	1.11	0.86	58.7
En hoyos	Mod 4	$H_o = (2.1468 + 0.1635 \cdot LH_{50})^2$	0.16	0.77	-15
Global	Mod 5	$H_o = (2.002 + 0.1674 \cdot LH_{70})^2$	0.16	0.80	-27

Se puede observar que el *Mod 1* posee a priori mejores resultados para el estrato de fajas, (menor error cuadrático medio, mayor coeficiente de determinación y menor factor AIC), pero se descarta por los siguientes motivos:

- El test VIF, indica una gran correlación entre las mismas, esto se traduce en que pueden existir variables explicativas que no son significativas, pero debido a la alta correlación se reflejan como que sí lo son.
- El análisis gráfico de valores atípicos muestra que el *Mod 1* posee un valor atípico e influyente en el modelo.
- El gráfico de residuos del *Mod 1* refleja una tendencia no lineal.

Por todos estos condicionantes se ha seleccionado el *Mod 2*, como el que mejor ajuste ofrece de altura dominante para el estrato en fajas.

Como se puede observar en la Tabla 10, el modelo que mejor ajuste ofrece para el estrato hoyos (*Mod 4*) tiene diferente variable explicativa al *Mod 2*, esto es debido a que los *LH_95* y *LH_99* en este estrato generan una gran dispersión al relacionarlo con la “variable respuesta” Hdom. En cambio con otro percentil, concretamente *LH_50* existe una mejor relación lineal, en este caso se han utilizado los radicales para disminuir la dispersión de las variables y mejorar el ajuste.

Este cambio de variable puede ser debido a que en el estrato de fajas existe una mayor densidad y por ende la masa está más cerrada, lo que la incidencia del láser sea peor. Por esta razón la dispersión de la nube de puntos en este estrato es menor y los percentiles más altos tienen una mejor representación.

Se puede observar que en el *Mod 5*, se ha utilizado un percentil intermedio al de los otros dos estratos, *LH_70*, algo previsible debido a que los dos sets de datos se han mezclado para obtener este modelo.

4.2.2 Volumen

Tabla 11. Resultados de los modelos de Volumen

<u>Estrato</u>	<u>Modelo</u>	<u>Ecuación</u>	<u>RMSE</u>	<u>R²</u>	<u>AIC</u>
En fajas	Mod 6	$V = -120.11 + 48.7 \cdot LH_{10} - 233.6 \cdot LH_{70} + 227.14 \cdot LH_{80}$	32.65	0.76	182
En fajas	Mod 7	$V = 6.2902 \cdot LH_{mean}^{1.6899}$	0.27	0.75	8.3
En fajas	Mod 8	$V = 19.5313 \cdot e^{0.010143 \cdot LFCC} \cdot e^{0.187237 \cdot LH_{mean}}$	0.25	0.78	6.8
En hoyos	Mod 9	$V = 10.6217 \cdot e^{0.0221 \cdot LFCC} \cdot e^{-0.0259 \cdot \%retornsob3} \cdot LH_{20}^{1.2785}$	0.25	0.72	6.6
Global	Mod 10	$V = 21.8559 \cdot e^{0.0234 \cdot LFCC} \cdot LH_{mean}^{1.3449} \cdot e^{-0.3819 \cdot \sqrt{\%prim ret sob 3}}$	0.26	0.71	14.3

Como se puede apreciar el *Mod 6* tiene como: raíz del error cuadrático medio 32.65 m³/ha y un AIC de 182. Los otros modelos presentan un RMSE menor a 1 y un AIC sustancialmente menor; esto se debe a que estos test se calcularon a partir del modelo transformado logarítmicamente, por lo que el RMSE, R² y el factor AIC del *Mod 6* no se puede comparar en estas condiciones con los resultados de los otros modelos (*Mod 7* y *Mod 8*). Para poder comparar los resultados, se tiene que obtener la solución de los test con el modelo destransformado logarítmicamente de *Mod 7* y *Mod 8*.

Finalmente, en el estrato de Fajas se ha utilizado el *Mod 8*, debido a que los test gráficos de los residuos han reflejado mejor comportamiento que los realizados en el *Mod 6* y *Mod 7*.

Las variables empleadas en los modelos *Mod 8*, *Mod 9* y *Mod 10*, han sido dos tipos de variables.

- Porcentaje de retornos: Esta tipo de variable explicativa, está representada por *LFCC*, % de primeros retornos sobre 3. Tiene sentido que estas variables tengan un elevado grado de significación. Debido a que estas variables explicativas representa el grado en que el suelo está cubierto de vegetación, y a mayor recubrimiento mayor volumen.
- Altura de un porcentaje medio-bajo de retornos: Este tipo de variable explicativa, está representada por *LH_mean* y *LH_20*. Ambos percentiles muestran la altura de menos de la mitad de los primeros retornos. Esta variable tiene sentido debido a que a mayor altura, mayor desarrollo presenta el dosel arbóreo y mayor cantidad de volumen.

Hay que destacar, que el *Mod 9* y *Mod 10* presentan una estructura similar, diferenciándose en los parámetros utilizados y en la utilización de un diferente percentil de alturas. Puede ser debido a que para confeccionar el *Mod 10* se ha utilizado una mayor cantidad de información procedente del set de datos del estrato a hoyos, y por esto, se asemeje más el modelo global al modelo específico del estrato a hoyos *Mod 9*.

4.2.3 Densidad

Tabla 12. Resultados de los modelos de Densidad

<u>Estrato</u>	<u>Modelo</u>	<u>Ecuación</u>	<u>RMSE</u>	<u>R²</u>	<u>AIC</u>
En fajas	Mod 11	$N = 2619.592 + 367.851 \cdot LH_{05} - 396.813 \cdot LH_{20} - 9.137 \cdot LFCC$	269	0.71	258
En fajas	Mod 12	$N = 2948.935 - 7.536 \cdot LFCC - 129.208 \cdot LH_{95}$	288	0.67	259
En hoyos	Mod 13	$N = 58.8677 \cdot LFCC^{0.8621} \cdot e^{LH_{mode}(-0.099)}$	0.43	0.20	32.9
Global	-----	-----	-----	----	----

En el estrato a fajas, se ha seleccionado el *Mod 11* debido a que presenta un RMSE y un factor AIC menor al *Mod 12* y un coeficiente de determinación mayor. Por este motivo se ha considerado que el *Mod 11* tiene mejor ajuste.

Ha sido muy costoso obtener algún tipo de modelo en el caso del estrato a hoyos, directamente el mejor modelo encontrado presenta un R² de 0.2.

Las variables que mayor grado de significación han dado han sido las que reflejan el porcentaje de retorno *LFCC* y los percentiles de altura más bajos *LH_05*, *LH_20* y *LH_mode*.

Finalmente, para todo el cómputo de datos global, no se ha podido generar ningún modelo, debido a que no se ha encontrado variable significativa en el modelo. Solamente se han obtenido variables significativas en los modelos al ejecutar “*selección del modelo paso a paso*”, cuando se han introducido variables fuertemente correlacionadas.

Resulta significativo que para el estrato a fajas, sí que se ha podido generar un modelo con valores estadísticos aceptables para la variable densidad (**N**). Este resultado puede ser debido a que las repoblaciones realizadas por este método, presentan un orden y un

patrón muy diferenciado, que pueden facilitar la búsqueda de relación entre las variables explicativas y las de respuesta.

El no poder obtener un modelo para el conjunto de estratos, puede ser debido a la gran diferencia existente en los dos sets de datos, y al ser una muestra pequeña, cada variable tiene un elevado peso o importancia a la hora de obtener un modelo, lo que imposibilita poder representar una tendencia. Esto se traduce en que con este conjunto de datos no es posible establecer una relación lineal entre los dos sets de datos con las variables explicativas del LIDAR.

4.2.4 Área Basimétrica

Como se ha indicado en la metodología, esta variable procede de dos fuentes de datos: Área basimétrica obtenida con los diámetros de los pies situados en la parcela de 10 m y el Área basimétrica obtenida por relascopio, por ello se ha procedido a mencionar en la siguiente Tabla 13 a qué modelo se refiere.

Tabla 13. Resultados de los modelos de Área Basimétrica

<u>Estrato</u>	<u>Modelo</u>	<u>Ecuación</u>	<u>RMSE</u>	<u>R²</u>	<u>AIC</u>
En fajas	Mod 15	$G = 3.1211 \cdot LH_{10}^{1.4479}$	0.24	0.75	2.93
En fajas _{relas}	Mod 16	$G_{relasc} = 9.5989 \cdot LH_{10}^{0.7024}$	0.18	0.54	-7
En hoyos	Mod 17	$G = 104.7893 \cdot LH_{20}^{1.2319} \cdot \% \text{ prim ret sob } 3^{-1.4223} \cdot e^{LFCC \cdot 0.0266}$	0.23	0.71	3.65
En hoyos _{relas}	Mod 18	$G = 93.197 \cdot LH_{20}^{0.3532} \cdot \% \text{ prim ret sob } 3^{-0.9289} \cdot e^{LFCC \cdot 0.0232}$	0.19	0.55	-7
Global	Mod 19	$G = 3.279 \cdot LH_{10}^{0.8837} \cdot e^{0.0088 \cdot LFCC}$	0.25	0.67	8.3
Global _{relas}	Mod 20	$G = 67.2392 \cdot LH_{10}^{0.3524} \cdot e^{0.02 \cdot LFCC} \cdot \% \text{ retorn sob } 3^{-0.7653}$	0.17	0.60	-23

Como resultado se puede observar que los modelos de área basimétrica, procedente de la medición de los diámetros y del relascopio, presentan la misma estructura, diferenciándose en los parámetros o en la inclusión de otra variable explicativa. Esto demuestra la gran relación existente entre las dos fuentes de datos.

Como se aprecia en la Tabla 13; los modelos procedentes de relascopio, presentan un coeficiente de determinación considerablemente menor, pero también un RMSE menor por lo que este tipo de valoración no es determinante, los análisis gráficos ofrecen

resultados más convincentes en los modelos de área basimétrica obtenidos al medir los diámetros. Además de estos argumentos hay que añadir que la evaluación cualitativa (explicada en el apartado 3.4.1.2.) ha mostrado que los modelos procedentes de área basimétrica obtenida a través de relascopio, presentan valores atípicos y valores biológicamente imposibles con elevada frecuencia. Puede ser debido a que la obtención de esta variable-respuesta por este método, genera un sesgo y su medición no es tan precisa en comparación al otro método.

Hay que destacar que a la hora de obtener un modelo es importante ser lo más riguroso posible a la hora de obtener los datos de campo, debido a que el ruido de los datos se intensifica a medida que se generan las diferentes combinaciones y es importante comenzar a realizar estas mismas con el mínimo error. Por esta razón puede haber existido errores en los modelos procedentes de los datos de Área Basimétrica medida por relascopio de cadenas.

Dicho esto, es más preciso utilizar los datos de los modelos procedentes del área basimétrica medida, a través de los diámetros de los árboles situados en la parcela.

Otra cosa que se ha de resaltar es que los modelos de área basimétrica tiene un ajuste mucho mejor que los modelos procedentes de la variable N. El área basimétrica está muy relacionada con el diámetro y la densidad de la masa. Estos montes suelen tener un diámetro cuadrático medio que oscila entre Ø15 a Ø25 cm debido a que son masas muy estancas, en las cuales no se han realizado actuaciones silvícolas con un carácter determinante en el crecimiento secundario. Sabiendo esto, esta variable puede reflejar el estado de competencia de la masa.

4.3 Representación Cartográfica de los modelos

Al existir un elevado número de mapas generados, se ha procedido a expresar los datos de estos de una manera global y no particular de cada monte.

La superficie total de la zona de estudio, en la cual se ha establecido como especie principal *Pinus halepensis* calculada a través de los datos LIDAR es de 7863 ha. Ciertamente que en esta superficie se han considerado masas monoespecíficas, pudiendo haber bosquetes de otras especies principales. Además, existe una elevada superficie en la cual la vegetación tiene una altura que oscila entre 2-6 m pudiendo ser quercíneas o arbustos;

si no se tiene en cuenta esta superficie, se presenta una cabida de 6979 ha. Este dato si se compara con los datos aportados del MFE que indican que esta superficie es igual a 6153 ha evidencia una diferencia de 826 ha. Hay que tener en cuenta que la zona de estudio presenta una superficie total de 12502 ha como se ha indicado en la Tabla 1. Esta diferencia representa un 6.6 % de la superficie de estudio. Con todo lo expuesto se corrobora que el MFE es una buena fuente de información.

4.3.1 Datos globales de Altura dominante y Calidad de estación

De las 7863 ha de *Pinus halepensis* se ha obtenido lo siguientes datos de calidad de estación y altura dominante:

Tabla 14. Porcentaje de superficie para cada clase de Altura Dominante y Calidad de Estación

<u>Rango</u>	<u>Porcentaje con arbustos</u>
2-6 m	12%
6-9 m	41%
Calidad 11	21%
Calidad 14	17%
Calidad 17	8%
Calidad 20	1%
Total	100%

Se puede apreciar en la Tabla 14 que el 41 %, el 21 % y el 17% de la superficie que está ocupada por *Pinus halepensis* está representada por arboles de 6 a 9 metros, la calidad de estación 11 y 14 respectivamente. Dichos porcentajes son los más elevados en el grupo de calidad de estación. Es un dato que demuestra que de manera global, la zona de estudio tiene una calidad muy baja, en la cual no se puede esperar grandes crecimientos. Todo esto corrobora la procedencia de dichas masas, ya que las zonas donde se suele repoblar con la participación estatal y con especies de crecimiento lento son zonas con poca productividad.

La superficie asociada a cada clase de Altura dominante y Calidad de estación de los montes se adjunta en el apartado 5 del Anejo.

4.3.2 Datos globales del Volumen

En cuanto a volumen se han observado los siguientes resultados:

Tabla 15. Porcentaje de superficie ocupada por cada rango de Volumen

<u>Rango</u>	<u>Porcentaje con arbustos</u>
No autofinanciable	57.4%
70-100	20.8%
100-130	11.9%
130-160	6.2%
160-190	2.5%
190-220	0.8%
220-250	0.3%
>250	0.2%
Total	100%

Como se aprecia en la Tabla 15, el 78.2% de la superficie de la zona de estudio presenta una cantidad de volumen unitario inferior a 100 m³/ha, lo que se traduce en que 6149 ha son muy poco productivas. Las 1714 ha que restan, se presupone que son más productivas.

Para calcular las existencias de las clases más productivas referidas en la Tabla 16, se ha establecido el valor intermedio de cada clase como volumen medio y se ha calculado las existencias de cada clase al multiplicar la superficie con el volumen medio.

Debido a que en la administración se está utilizando la tonelada como unidad de medición en los aprovechamientos forestales, parece correcto implementar también la cantidad de madera en dicha magnitud. Para ello se establece como densidad de *Pinus halepensis* 0.63 t/m³, se ha utilizado este valor por experiencia en anteriores aprovechamientos forestales que suele oscilar entre 0.6-0.65 t/m³ además de diferentes publicaciones Rodríguez et al.(2014).

La superficie asociada a cada clase de Volumen de los montes se adjunta en el apartado 6 del Anejo.

Tabla 16. Resumen de Existencias en la Zona de Estudio

<u>Valor unitario m³/ha</u>	<u>Superficie ha</u>	<u>Volumen m³</u>	<u>Tonelada t.</u>
115	935	107 525	67 741
145	488	70 760	44 579
175	193	33 775	21 278
205	60	12 300	7 749
235	22	5 170	3 257
275	16	4 400	2 772
Total	1714	233 930	147 376

En esta tabla se puede extraer que estos montes presentan unas existencias de 147 376t según el criterio planteado, son autofinanciables para su extracción. Esta es una cifra que indica que existe suficiente madera para realizar alguna actuación en estos montes, y además poder actuar en zonas no autofinanciables en combinación con las zonas más productivas.

Bien cierto que estas cifras se han obtenido de una manera global. Para cerciorarse de la cantidad de madera y la extracción de ésta, es necesario un estudio más específico para cada monte.

En síntesis se puede establecer a través de este trabajo, una cartografía particular para cada monte, lo que permite obtener ciertos valores de una manera intuitiva y fácil, debido a que se pueden observar las zonas más productivas del monte y en qué rango de valores se mueven dichas zonas. Si combinamos cartografía con la tabla de superficie de cada clase, se obtiene información de una manera muy rápida cara a una posible actuación forestal.

4.3.3 Datos globales Área Basimétrica

En cuanto al área basimétrica se han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 17. Porcentaje de superficie por clases de Área Basimétrica

<u>Rango m²/ha</u>	<u>Porcentaje</u>
<10	41.3%
10-20	33.7%
20-25	10.0%
25-30	7.4%
30-35	4.4%
35-40	2.2%
40-50	0.9%
>50	0.1%
Total	100.0%

Se puede apreciar en la Tabla 17, el mismo patrón que en el caso del volumen y de la calidad de estación, los rangos más bajos ocupan una superficie elevada. Puede ser debido a la gran superficie de vegetación con alturas de 2-10 m haciendo que su representatividad sea muy elevada y distorsionando los datos globales.

Por otro lado, se puede apreciar que la superficie que representa un área basimétrica superior a los 35 m²/ha, es de 3.2 % de 7863 ha lo que se traduce en que ocupa 251.6 ha. Por lo comentado, estas zonas deben de presentar una densidad elevadísima, debido a que se si establece como $G = 44 \text{ m}^2/\text{ha}$, (esta G se establece como valor medio de G superior a 35 m²/ha) y un $D_g = 17.97 \text{ cm}$, (el cual se ha obtenido en los datos del inventario realizado con el fin de generar los modelos, como se ha mencionado en el apartado 3.5.3, este diámetro oscila entre Ø15 a Ø25 cm), se puede indicar que la densidad media en esta superficie es de 1734 pies/ha. El doble de lo recomendado en las tablas de producción (Gregorio Montero & Cañellas, 2001) que establece para la calidad de estación 11 a una edad de 60 años un valor de 866 pies/ha.

A continuación se procede a realizar una estimación de la densidad (N) con los datos de área basimétrica y estableciendo como D_g 17.97 cm.

La superficie asociada a cada clase de Área Basimétrica de los montes se adjunta en el apartado 7 del Anejo.

Tabla 18. Relación entre Área Basimétrica y Densidad

<u>G</u>	<u>N estimada</u>
22.5	718.3
27.5	878.0
33.5	1069.5
37.5	1197.2
45	1436.7

Se ha comenzado utilizando los rangos de G superiores a 20 debido a que a partir de este valor el Dg puede ser de 17.97cm. Como se puede apreciar en las dos primeras clases de la Tabla 18 representan una densidad parecida a la recomendada por Gregorio Montero & Cañellas (2001), para la calidad 11 y una edad de 60 años. A partir de 35 m²/ha ya excede de una manera considerable la N en comparación a esta recomendación.

Por último se ha de indicar que el 21.8 % de la superficie de la zona de estudio se encuentra en los rangos de 20 a 35 m²/ha lo que indica que el 20 % de la zona de estudio está en una situación correcta según el criterio de Gregorio Montero & Cañellas (2001).

4.3.4 Validación de los modelos

Una vez comparados los datos procedentes de un set independiente (apartado 3.2.) con los valores obtenidos de los modelos, se han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 19. Resultados Validación Modelos

<u>Modelo</u>	<u>RMSE</u>	<u>% Error</u>
H en fajas (Mod 2)	3.051 m	25%
H (Mod 5)	3.293 m	26.99%
V en fajas (Mod 8)	98.38 m ³ /ha	52.13%
V (Mod 10)	51.77 m ³ /ha	27.43 %
G en fajas (Mod 15)	11.5 m ² /ha	33.96 %
G (Mod 19)	5.78 m ² /ha	17.06%

La comparación de resultados se adjunta en el apartado 8 de los anejos.

Primero, los modelos en el estrato en hoyos no se han podido validar, debido a que los montes utilizados referidos en los apartados 3.2.1, y 3.4.1.3, “Validación delo modelo”; han sido repoblados a fajas.

Segundo, no se ha podido validar los modelos de área basimétrica estimada por relascopio, debido a que el área basimétrica de estas 28 parcelas, se ha obtenido con la medición de los diámetros de las parcelas; como son dos metodologías diferentes, la evaluación del modelo puede mostrar los errores procedentes de la discrepancia en la toma de datos y disimular los errores originarios del modelo.

Tercero, se puede observar en la Tabla 19 que la única ventaja al establecer la estratificación por método de repoblación, es la altura dominante. El resultado de la evaluación de los modelos (Mod 2 y Mod 5) es muy similar. Para el resto de variables, las diferentes comparaciones de modelos (Mod 8 - Mod 10 y Mod 15 - Mod 19) muestran una gran diferencia, exhibiendo una tasa de error mayor en los modelos de la estratificación de fajas, por ejemplo el Mod 8 refleja un error de un 52 %; una tasa de error inadmisibile.

Los resultados de observar la cartografía y realizar la evaluación cualitativa referida en el apartado 3.4.1 han sido los siguientes:

La ejecución de los modelos del área basimétrica por relascopio ha dado muchos errores, por ejemplo el “Mod20” en ningún monte se ha ejecutado correctamente. Los modelos de área basimétrica a partir de relascopio en los diferentes estratos (Mod 16-18), sí que se han ejecutado, pero normalmente han presentado valores atípicos y biológicamente imposibles. Además de los valores atípicos estos modelos tienen una tendencia de agrupar todos los valores en una franja de 20 a 40 m²/ha.

Hay que destacar también que los modelos de área basimétrica específicos para cada estrato (Mod 15-17) se han ejecutado correctamente, pero en alguna ocasión han presentado valores atípicos.

El único modelo que se ha ejecutado sin valores atípicos, y no ha dado problemas a la hora de representar los resultados en un mapa en todos los montes ha sido el Mod 19.

En la ejecución de los modelos de Altura Dominante y Volumen no han presentado errores en cuanto a valores atípicos. Se ha podido observar la existencia de valores

mayores de altura dominante y volumen en las zonas de sombría, en las zonas susceptibles al efecto borde y en fondos de valle, observando que el modelo es coherente.

Otro aspecto a destacar, es la existencia de una fuerte relación entre la calidad de estación y el volumen, a mejor calidad de estación mayores existencias presenta.

5 CONCLUSIONES

Visto los resultados y discusión de este trabajo se pueden realizar diferentes conclusiones.

En primer lugar se puede determinar que la estratificación por método de repoblación no ha sido determinante para la obtención de modelos más precisos; es más, al dividir los datos obtenidos del inventario en dos grupos ha perjudicado los modelos. Por esta razón los modelos globales han dado mejor resultado, debido a que para su confección han utilizado un conjunto de datos mayor.

Esta conclusión no significa que el criterio de estratificación no sea correcto, se debería evaluar con una intensidad de inventario mayor, debido a que cada estrato habría tenido más parcelas para confeccionar los modelos.

Por lo comentado anteriormente el criterio de realizar 20 parcelas por estrato parece insuficiente para generar unos modelos precisos.

En segundo lugar, se constata en la evaluación cualitativa un error elevado en los modelos de Área Basimétrica a partir de relascopio, esto puede ser debido a que se genera un sesgo en la toma de medidas de campo, ya que esta metodología no es tan precisa como la medición de todos los árboles de la parcela y este error se va aumentando a medida que se realizan las regresiones.

En tercer lugar en cuanto a la densidad (N), los modelos que se han generado y posteriormente se han ejecutado, han dado unos resultados poco precisos. Se ha podido constatar en la evaluación cualitativa que estos modelos arrojan muchos valores atípicos, elevados errores y valores de N muy superiores a los observados sobre el terreno para zonas donde no había vegetación.

Es posible que esto último se deba a la baja intensidad de inventario, debido a que ha aportado pocos datos para establecer algún tipo de relación entre los datos estadísticos LIDAR y la variable densidad (N). No obstante, en el estrato de fajas sí que se ha podido obtener una relación, esto puede dar pie a que si es de interés obtener esta variable N, merezca la pena realizar un estudio más exhaustivo y centrar los esfuerzos en estratificar por método de repoblación y aumentar la intensidad de inventario.

También hay que destacar, que parte del error existente o falta de ajuste en todos los modelos es debido al posicionamiento y la precisión del GPS, ya que no se ha utilizado un GPS submétrico por lo que no se ha establecido una relación exacta entre los datos de las parcelas con la nube de puntos cortada. Pero aún con todo lo mencionado al GPS, los errores calculados en la validación en todos los modelos globales, han sido inferiores a un 30 %, pudiendo dar pie a pensar en que en masas con poca variabilidad no sea necesaria tanta precisión en la localización de la parcela.

Según los datos de Calidad de Estación, Volumen y Área Basimétrica, existe una gran superficie de entorno al 65% con baja productividad, en la cual la altura dominante oscila entre 6-9 metros, un área basimétrica inferior a 20 m²/ha. Hay que indicar que en estas zonas se incluyen claros, que posiblemente ocupen otras especies diferentes al *Pinus halepensis* aun así, los datos indican la poca productividad y la pobre calidad de estación de la zona de estudio.

Las zonas con más productividad y mejor calidad corresponden a una superficie pequeña. A la hora de realizar alguna actuación en estos montes se tendría que buscar la manera de compensar el coste de las actuaciones en las zonas no autofinanciables, por esta razón hay que realizar una planificación detallada y combinar las actuaciones de las zonas más productivas con los sectores de menor calidad.

Es importante indicar que en aquellas zonas donde el estancamiento es mayor existe un gran potencial de peligrosidad y severidad en cuanto a los incendios forestales debido a la estructura y acumulación del combustible. Estas zonas suelen corresponder a montes en los que no se ha realizado ninguna actuación silvícola desde su repoblación. Se han encontrado masas que no se han deshermanado, donde el grado de estancamiento es elevadísimo. Estas zonas no se han podido representar en la cartografía generada debido a que el dosel arbóreo esta tan cerrado que la incidencia del haz de luz no penetra lo suficiente, para representar:

- Pies hermanados dominados.
- Pies muertos.
- Elevada ramosidad.
- Elevada densidad con árboles muy delgados, cuyo diámetro no es inventariable.

Además de la incidencia del haz de luz, se ha comentado con anterioridad, la complejidad de representar la variable densidad, seguramente si se pudiera representar esta variable con precisión, estas zonas se podrían reproducir en la cartografía.

Finalmente se puede destacar que utilizando el LIDAR como herramienta y los modelos globales (Mod 5-10-19) se ha podido caracterizar los montes consorciados de la zona de estudio conformados por masas de *Pinus halepensis* procedentes de repoblación cuya superficie ocupa 7863 ha, con 40 parcelas, teniendo un error obtenido en la validación de todos los modelos globales inferior a un 30 %.

Se puede concluir que la utilización de los sistemas de teledetección a la hora de caracterizar el estado del bosque, resultan de gran utilidad, aumentando la eficacia de los inventarios, siendo no obstante importante que los gestores sigan realizando muestreos en los montes.

6 BIBLIOGRAFIA

- Cabrera, J., Lamelas, M., & Fernández, J. de la R. (2013). *Estimación de variables dasométricas a partir de datos LIDAR PNOA en masas regulares de Pinus halepensis Daroca (Zaragoza)*. Universidad de Zaragoza.
- Condés, S. (2013). Influencia del inventario de campo en el error de muestro. *Congreso SECF*, 1–13.
- Estornell, J. E., & Ruiz, L. Á. R. (n.d.). *Generación de MDE y MDS en una zona de vegetación arbórea y arbustiva mediante datos LIDAR e imágenes de Satélite Quickbird*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/J_Estornell/publication/255643994_GENERACION_DE_MDE_Y_MDS_EN_UNA_ZONA_DE_VEGETACION_ARBOREA_Y_ARBUSTIVA_MEDIANTE_DATOS_LIDAR_E_IMAGENES_DE_SATELITE_QUICKBIRD/links/54b684e50cf2e68eb27e998c.pdf
- García, D., Godino, M., Merino, S., & Maura, F. (2010). *Estimación de variables de interés forestal basada en datos LIDAR en el monte número 117 deñ C.U.P. término municipal de Cuenca*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Gauch, H. G., Hwang, J. T. G., & Fick, G. W. (2003). Model Evaluation by Comparison of Model-Based Predictions and Measured Values. *Agronomy Journal*, 95, 1442–1446.
- Magdaleno, F., & Martínez, R. (2006). Aplicaciones de la teledetección láser (LIDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial. *Ingeniería Civil*, 142, 1–15.
- Maltamo, M., Bollandsås, O. M., Næsset, E., Gobakken, T., & Packalén, P. (2011). Different plot selection strategies for field training data in ALS-assisted forest inventory. *Forestry*, 84(1), 23–31. <http://doi.org/10.1093/forestry/cpq039>
- Maltamo, M., Packalén, P., Yu, X., Eerikäinen, K., Hyypä, J., & Pitkänen, J. (2005). Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, 216(1–3), 41–50. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.05.034>
- Montero, G., & Cañellas, I. (2001). Growth and Yield Models for *Pinus halepensis* Mill.

Investigación Agrária: Sistemas Y Recursos Forestales, 10(1), 179–201.

Montero, G., Grau, J. M., Ortega, C., & Cañellas, I. (2000). Tablas de produccion para *Pinus halepensis* Mill. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencia Forestal*, 188(10), 183–188.

Næsset, E. (2002). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 88–99. [http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00290-5](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00290-5)

Ojeda, J. C., & Martinez, J. (2017). *PNOA-LIDAR Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*. Retrieved from <http://www.congresos.cchs.csic.es/TIG2012/sites/default/files/Plan Nacional Teledeteccion.pdf>

Pérez-Soba Diez, I. (2016). La gestión forestal : historia , legislación , propiedad.

Picos, J., & Pérez-Soba, I. (2017). Los consorcios para la repoblación forestal : historia y perspectivas, (January 2001).

Rodríguez, F., Broto, M., & Lizarralde, I. (2014). Densidad normal de la madera de las principales especies forestales de Castilla y León, (January 2014). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/242251164_Densidad_normal_de_la_madera_de_las_principales_especies_forestales_de_Castilla_y_Leon

Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3). (2006). Provincia de Zaragoza. Retrieved from <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ifn3.aspx>

Tolosana, E. (1999). *El Aprovechamiento Forestal Mecanizado en las Cortas de Mejora de Pinus sylvestris L. Modelos de Tiempos, Rendimientos y Costes y Estudios de sus Efectos Ambientales*. Universidad Politécnica de Madrid. Retrieved from <http://oa.upm.es/144/1/07199903.pdf>

Vosselman, G., & Maas, H. G. (2010). Airborne and terrestrial laser scanning.